

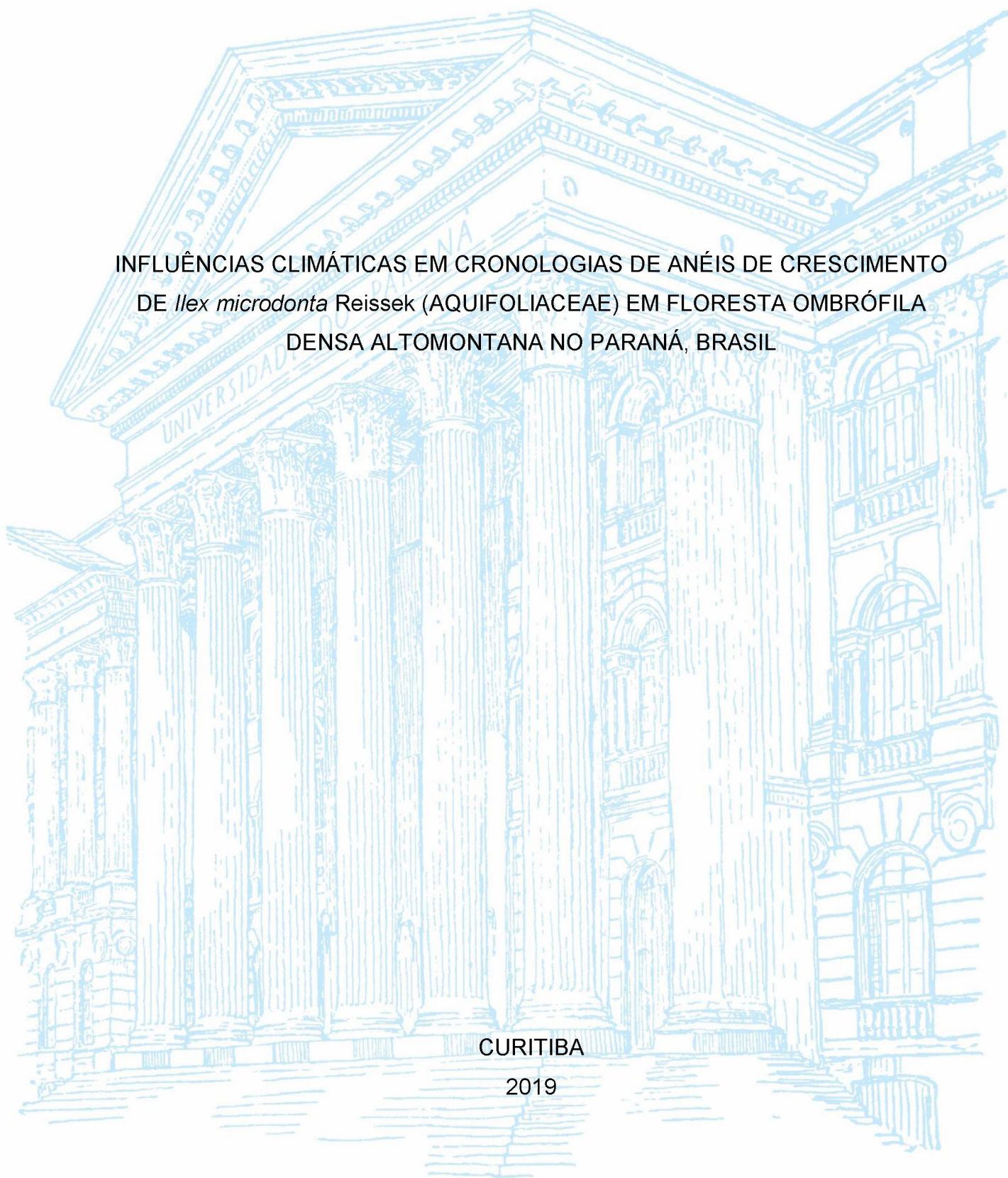
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO PALKA MIRANDA

INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS EM CRONOLOGIAS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO
DE *Ilex microdonta* Reissek (AQUIFOLIACEAE) EM FLORESTA OMBRÓFILA
DENSE ALTOMONTANA NO PARANÁ, BRASIL

CURITIBA

2019



BRUNO PALKA MIRANDA

INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS EM CRONOLOGIAS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO
DE *Ilex microdonta* Reissek (AQUIFOLIACEAE) EM FLORESTA OMBRÓFILA
DENSE ALTOMONTANA NO PARANÁ, BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Conservação da Natureza, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan

Coorientadores:

Dr. Paulo Cesar Botosso
Prof. Dr. Tomaz Longhi Santos

CURITIBA

2019

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Miranda, Bruno Palka

Influências climáticas em cronologias de anéis de crescimento de *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) em Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Paraná, Brasil / Bruno Palka Miranda. – Curitiba, 2019. 182 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan

Coorientadores: Prof. Dr. Tomaz Longhi Santos

Dr. Paulo Cesar Botosso

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 22/03/2019.

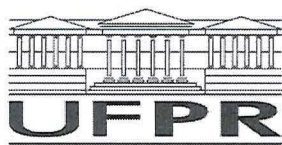
Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Dendrocronologia – Paraná. 2. Árvores - Anéis de crescimento. 3. Mata Atlântica. 4. Serra do Mar (PR). 5. Mudanças climáticas. 6. Teses. I. Roderjan, Carlos Vellozo. II. Santos, Tomaz Longhi. III. Botosso, Paulo Cesar. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.561.24(816.2)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **BRUNO PALKA MIRANDA** intitulada: **INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS EM CRONOLOGIAS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Ilex microdonta* Reissek (AQUIFOLIACEAE) EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa ALTOMONTANA, PARANÁ, BRASIL**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 22 de Março de 2019.

CARLOS VELLOZO RODERJAN
Presidente da Banca Examinadora

ARNO FRITZ DAS NEVES BRANDES
Avaliador Externo (UFF)

PAULO CÉSAR BOTOSSO
Avaliador Externo (EF)

ALEXANDRE BERNARDI KOEHLER
Avaliador Externo (PUC/PR)

SEBASTIÃO DO AMARAL MACHADO
Avaliador Interno (UFPR)



*Às montanhas da Serra do Mar do Paraná,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

- E quem estará nas trincheiras ao teu lado?

- E isso importa?

- Mais do que a própria guerra.

Ernest Hemingway

À minha família, Ana Luzia, Mauricio e Gabriela, por todo o amor e carinho que temos uns pelos outros, inclusive nos momentos difíceis. Aos meus avós brasileiros Mariana e Casemiro, e todos os meus tios, tias, primos e primas, por tornarem a família Gori Palka tão maluca, cativante e viajante que somos! Aos meus avós chilenos Ruth e Eduardo (ambos *in memoriam*), todos os meus tios, tias, primos e primas por me receberem tão bem quando vou ao Chile, e por todo o amor e carinho que têm comigo! Mais uma vez, Viva Chile mierda!

A pessoa que literalmente enfrentou comigo todo o período de doutorado, minha companheira de vida e amor, Gabriela Dal'Agnol Lara, por ser o meu porto seguro nos momentos difíceis dessa caminhada, minha fonte de sorrisos nos momentos gostosos, e a responsável pelas anotações na prancheta e acondicionamento das amostras em quase todos os campos! A vida é melhor ao seu lado! Ao Gilmar, Rose e a Ana, e toda a família Dal'Agnol Lara, que por tantas vezes cuidaram de mim, tenho o mais profundo respeito e admiração por todos vocês!

Ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan, o "chefe"! Mais do que um mero orientador, você foi meu mentor desde a graduação, e por quem tenho o maior respeito como ser humano. Sem sombra de dúvidas você é minha maior inspiração enquanto Engenheiro Florestal, e muito do que sou hoje como profissional devo a você. Foi uma honra ter percorrido esse caminho consigo ao meu lado. Obrigado pela confiança (mais uma vez) em ser seu orientado, chefe!

Ao amigo e coorientador Dr. Paulo Cesar Botosso, a quem devo tanto pelos conhecimentos passados com a dendrocronologia, por todo o zelo e apoio que teve durante o doutorado, principalmente nas épocas em que as dúvidas eram maiores do que as certezas. Sua dedicação e amor pelo que faz é inspirador. Obrigado mais uma vez meu amigo!

Ao amigo, parceiro de trabalhos e, mais do que tudo isso, coorientador, ao Prof. Dr. Tomaz Longhi Santos, com quem partilhei grandes momentos nessa caminhada. Muito embora você me provocava por não ter um projeto de tese, estou

certo de que nossa amizade e respeito um pelo outro valeu a pena. Ao mesmo tempo que sua personalidade forte traz carisma, mostra o quanto você é dedicado com as coisas que faz, e isso não foi diferente com essa coorientação. Obrigado mais uma vez por tudo, meu amigo!

Ao Prof. Dr. Franklin Galvão, por todas as discussões e indagações a respeito da ecologia e as florestas, há quem sempre serei eternamente grato por todos os conhecimentos que foram a mim repassados. Seu exemplo enquanto educador é digno de um grande mestre, e muito mais do que a vivência acadêmica, compartilhar consigo todos os momentos do doutorado foi um privilégio!

À Prof.^a Dr.^a Yoshiko Saito Kuniyoshi, nossa querida mãe dos pós-graduandos do Laboratório de Ecologia Florestal, que tanto nos dá alegria e carinho a cada vez que nos visita. A todas as aulas de campo e montanhas que subi consigo, você me mostra que a vida não deve ser levada tão a sério, principalmente por nos manter tão bem nutridos a base de pastel e banana!

Ao Prof. Dr. Christopher Thomas Blum, por sua dedicação e zelo enquanto representante de área e presidente das bancas de Estado da Arte que, mais do que nos cobrar pelos prazos da pós-graduação, nos motivava a buscar sempre o nosso melhor.

A minha “mãe” Prof.^a Dr.^a Jaçanan Eloisa de Freitas Milani, exemplo de mulher, que é dedicada e inspiradora enquanto pessoa, e que certamente me auxiliou a trilhar parte do caminho durante a pós-graduação. Serei eternamente grato pela sua amizade e carinho, e por tudo que vivemos nesse período, ao que recordo a nossa valiosa “Equipe Fenologia”!

Aos amigos Dr. Dieter Liebsch, pelas alegrias com as derrotas do Coritiba, mais do que com as vitórias do Atlético-PR; Dr.^a Amanda Koche Marcon, com os campos em Foz do Areia, análises no R e medos da fase final do doutorado; Dr. Victor Hugo Ferreira Andrade, pelas forte amizade e valorosas discussões sobre a região Sul e Norte do Brasil, e grande auxílio na coleta das amostras, mesmo que não tenha atingido a medula em nenhuma delas; e Dr. com doutorado Alessandro Panasolo, com a entrega da inscrição às 17h58 que determinou o seu ingresso na pós-graduação; Pelos ótimos momentos de convivência junto ao Laboratório, pelas indagações e divisão das alegrias e frustrações ao longo de todo esse período. Caminhar ao lado de vocês certamente foi muito melhor, e agradeço por tudo o que vivemos juntos!

Aos colegas da pós-graduação Edilaine, Dagma, Manu, Tiaro, Santiago e Igor, pela ótima convivência e amizade ao longo de todos esses anos!

Aos amigos que auxiliaram nas coletas das amostras em campo: Guilherme Ruthes, Marcos Almeida, Gustavo Moraes, Guilherme Sionek, Henrique Thá Reinhardt e Stefan Luiz Fontanella, todos irmãos escoteiros que não hesitaram em cumprir sua Promessa, e ainda passaram alguns “perrengues”, entre tempestades e raios nas montanhas junto comigo. Obrigado meus amigos!

Aos meus irmãos e chefes escoteiros, Paulo Dieter, Krigne Keller, Gabriela Lara, Luiz Minski, Lucas Aksel e Gil, tenham certeza de que a convivência semanal com vocês foi minha fonte de paz e equilíbrio durante por tudo o que vivemos ao longo dos últimos 4 anos, mesmo que esse não fosse o sentimento vivido por nossas patrulhas! Um especial agradecimento a Larissa Terra, a “chefe junta”, que, nos últimos 3 anos, dividiu a responsabilidade de coordenar mais de 3000 jovens na região escoteira do Paraná, e que me fez não desistir, mesmo quando essa parecia a única opção. Obrigado pela sua amizade “abiga”!

Aos amigos e irmãos escoteiros, por quem tenho absoluto apreço e carinho, e que tenho certeza que nossa amizade perdurará por muito mais tempo: Guilherme Sionek, Luiza Sionek, Hellen Muniz, Guilherme Ruthes, Victoria Martins, William Iwersen, Isabela dos Anjos, Carlos Eduardo Zanon, Gabriel Batata, Carlos Karol, Jonathas Silva, Christian Nadas e Luciano Loyola obrigado pela convivência e carinho meus amigos, seja no Grupo Escoteiro São Judas Tadeu 17PR ou nos cursos de formação da Região Escoteira do Paraná!

A Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de doutoramento nessa prestigiada e pioneira instituição de ensino superior.

A banca examinadora, pelas correções e sugestões no texto final.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudos concedida.

Ao SIMEPAR, IAPAR e INMET, pela concessão dos dados meteorológicos.

E a todos os que não foram citados, mas que têm igual importância na minha vida e que, de alguma forma, me incentivaram a ser quem eu sou hoje,

Muito obrigado!

*“A montanha é uma das formas que o
homem encontra para chegar a Deus.”*

Erwin Gröger, o Professor.

RESUMO

As florestas altomontanas da Serra do Mar paranaense se configuram como um dos ambientes mais bem conservados do Estado e, dentre as espécies arbóreas que as formam, *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) prepondera. Esta espécie, popularmente conhecida como caúna-da-serra, possui o maior valor de importância dessas comunidades e junto a isso, forma anéis de crescimento anuais, sendo assim uma importante fonte de registros sobre esses ambientes ao longo do tempo. Em quatro conjuntos de montanhas foram amostrados 120 indivíduos (30/sítio) arbóreos adultos de *I. microdonta*, através da coleta de rolos de incremento diametral de cada uma das árvores, seguindo os procedimentos padrão de análise dendrocronológica. A partir dos dados obtidos junto às amostras, os três capítulos desta tese foram desenvolvidos. No primeiro capítulo, “Dendroclimatologia de *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) em Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Sul do Brasil” buscou-se estabelecer relações a respeito dos parâmetros dendrocronológicos da espécie e suas relações com as variáveis climáticas locais e os sistemas de circulação atmosférica globais, e suas respectivas teleconexões. No segundo capítulo, “Modelagem e trajetórias de crescimento de *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) em Floresta Atlântica de altitude no Sul do Brasil” foram analisadas as trajetórias de crescimento, por meio dos índices de largura dos anéis de crescimento da espécie, buscando-se estabelecer os modelos que melhor representam a relação diâmetro *versus* idade nos diferentes sítios amostrados. No terceiro capítulo, “Cronologias de *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) como proxies em reconstruções climáticas na Floresta Atlântica no Sul do Brasil”, procurou-se reconstruir a variabilidade climática local, para períodos desprovidos de dados instrumentais com base nos índices dos anéis de crescimento da espécie.

Palavras-chave: Dendrocronologia. Anéis de crescimento. Variáveis climáticas. Florestas nebulares. Floresta Atlântica.

ABSTRACT

The cloud forests of Serra do Mar in Paraná state are one of the best-preserved natural environments of the State and, among all arboreal species that compose them, *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) preponderates. This species, commonly known as *caúna-da-serra*, has the highest value of importance of these communities and, along with that, has annual growth rings, being a major source of natural records over this environment along time. We sampled 120 adult trees (30/site) of *I. microdonta* in four mountain ranges, through the acquisition of increment cores of each tree, following standard dendrochronological procedures. From the information gained from the samples, the three chapters of this thesis were developed. In the first chapter, "Dendroclimatology of *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) in the Tropical Montane Cloud Forests of Southern Brazil" we intend to establish relationships regarding the dendrochronological attributes of the species and its relationships with local climatic variables and global atmospheric circulation systems, and their respective teleconnections. In the second chapter, entitled "Modeling and growth trajectories of *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) in the Atlantic Forest in southern Brazil" the growth trajectories were analyzed, through the tree-ring indexes, seeking to establish the models that best represent the relationship between diameter versus age in the different sites. In the third chapter, "Chronologies of *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) as proxies in climatic reconstructions in the Atlantic Forest in southern Brazil", we sought to reconstruct the local climatic variability, in periods without instrumental data based on the indices of the growth rings of the species.

Keywords: Dendrochronology. Growth rings. Climate variables. Cloud forests. Atlantic Forest.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	25
FIGURA 2 -	IMAGENS DAS ÁREAS DE ESTUDO. A – PICO CAPIVARI, EM SUA VERTENTE NORTE. B – PICOS CARATUVA (A ESQUERDA) E ITAPIROCA (A DIREITA); C – PICO MÃE CATIRA, EM SUA VERTENTE ORIENTAL. D – MORRO SETE, VISTO A PARTIR DA ESTRADA DA GRACIOSA. E – MORRO DO ANHANGAVA, VISTO A PARTIR DE QUATRO BARRAS.....	26
FIGURA 3 -	GRANDES BLOCOS GRANÍTICOS FORMAM A PAISAGEM DA SERRA DO MAR. NA IMAGEM, PICO PARANÁ, MAIOR ELEVAÇÃO DO SUL DO BRASIL.....	28
FIGURA 4 -	DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS NAS PAISAGENS ALTOMONTANAS DO MORRO ANHANGAVA.....	29
FIGURA 5 -	DIAGRAMA CLIMÁTICO PARA A CIDADE DE PINHAIS, PRÓXIMA A SERRA DO MAR, NO PRIMEIRO PLANALTO PARANAENSE, CONSTRUÍDO CONFORME Walter e Lieth (1967).....	30
FIGURA 6 -	EVIDÊNCIAS DE FOGO NA PAISAGEM DE CAMPOS ALTOMONTANOS NÃO HIDROMÓRFICOS, NO PICO CAPIVARI, EM ÁREA NÃO FLORESTAL, NÃO AMOSTRADA.	31
FIGURA 7 -	À ESQUERDA, VISTA DO PICO CARATUVA EM 2004, ANTES DA OCORRÊNCIA DO INCÊNDIO. À DIREITA, EM 2014, PICO CARATUVA COM EVIDÊNCIAS DO INCÊNDIO FLORESTAL OCORRIDO EM 2007.....	32
FIGURA 8 -	EXSICATA DE <i>I. microdonta</i> , COM DETALHE DAS FOLHAS OBOVADAS COM OS 2/3 DISTAIS SERREADOS, E FRUTO MADURO.....	33
FIGURA 9 -	ANATOMIA MACROSCÓPICA (A) E MICROSCÓPICA (B e C) DE <i>Ilex microdonta</i> (SETAS BRANCAS INDICAM A DEMILITAÇÃO DOS ANÉIS). (C) RAIOS DILATADOS NOS LIMITES DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DA ESPÉCIE.....	34
FIGURA 10 -	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS.	51

FIGURA 11 - AJUSTE DE MODELO LINEAR PARA CORREÇÃO DOS DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS.....	52
FIGURA 12 - ÍNDICES SPEI PARA OS DIFERENTES SÍTIOS.	54
FIGURA 13 - À ESQUERDA, CURVAS DE INCREMENTO INDIVIDUAIS BRUTAS; À DIREITA, SÉRIE MÉDIA ESTABELECIDADA PARA O SÍTIO ANHANGAVA. A LINHA EM VERMELHO REPRESENTA UM <i>SPLINE</i> DE 10 ANOS. EM CINZA, AO FUNDO, NÚMERO DE AMOSTRAS UTILIZADAS POR PERÍODO.	59
FIGURA 14 - À ESQUERDA, CURVAS DE INCREMENTO INDIVIDUAIS BRUTAS; À DIREITA, SÉRIE MÉDIA ESTABELECIDADA PARA O SÍTIO CAPIVARI. A LINHA EM VERMELHO REPRESENTA UM <i>SPLINE</i> DE 10 ANOS. EM CINZA, AO FUNDO, NÚMERO DE AMOSTRAS UTILIZADAS POR PERÍODO.	59
FIGURA 15 - À ESQUERDA, CURVAS DE INCREMENTO INDIVIDUAIS BRUTAS; À DIREITA, SÉRIE MÉDIA ESTABELECIDADA PARA O SÍTIO CARATUVA. A LINHA EM VERMELHO REPRESENTA UM <i>SPLINE</i> DE 10 ANOS. EM CINZA, AO FUNDO, NÚMERO DE AMOSTRAS UTILIZADAS POR PERÍODO.	60
FIGURA 16 - À ESQUERDA, CURVAS DE INCREMENTO INDIVIDUAIS BRUTAS; À DIREITA, SÉRIE MÉDIA ESTABELECIDADA PARA O SÍTIO SETE. A LINHA EM VERMELHO REPRESENTA UM <i>SPLINE</i> DE 10 ANOS. EM CINZA, AO FUNDO, NÚMERO DE AMOSTRAS UTILIZADAS POR PERÍODO.....	61
FIGURA 17 - VALORES DE EPS (LINHA CONTÍNUA) E RBAR (LINHA TRACEJADA) PARA CADA UM DOS SÍTIOS AVALIADOS. A LINHA VERMELHA REPRESENTA UM <i>THRESHOLD</i> DE 75%.	61
FIGURA 18 - CORRELAÇÕES ENTRE O CRESCIMENTO E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, PARA O ANO T E ANO T-1. NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA: *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$	63
FIGURA 19 - CORRELAÇÃO DOS ÍNDICES DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO COM O ÍNDICE DE SECA SPEI-12.	64
FIGURA 20 - CORRELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO ANHANGAVA, E AS VARIÁVEIS DE	

	TEMPERATURA MÍNIMA (A), PRECIPITAÇÃO (B) E ÍNDICE DE SECA (C). O QUADRADO INDICA A REGIÃO DE ESTUDO.....	64
FIGURA 21 -	CORRELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO CAPIVARI, E AS VARIÁVEIS DE TEMPERATURA MÁXIMA (A) E PRECIPITAÇÃO (B). O QUADRADO INDICA A REGIÃO DE ESTUDO.....	65
FIGURA 22 -	CORRELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO SETE, E A VARIÁVEL DE TEMPERATURA MÍNIMA. O QUADRADO INDICA A REGIÃO DE ESTUDO.....	66
FIGURA 23 -	CORRELAÇÕES ENTRE OS ÍNDICES DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE <i>I. microdonta</i> E OS EVENTOS CLIMÁTICOS GLOBAIS.....	66
FIGURA 24 -	FUNÇÕES BOXPLOT PARA DIÂMETROS (À ESQUERDA) E ALTURAS TOTAIS (À DIREITA) NOS QUATRO SÍTIOS AVALIADOS.....	99
FIGURA 25 -	À ESQUERDA, INCREMENTO CORRENTE ANUAL DE <i>I. microdonta</i> NOS DIFERENTES SÍTIOS DE ESTUDO. À DIREITA, IDADES ESTIMADAS PARA CADA UM DOS SÍTIOS.....	99
FIGURA 26 -	TEMPO MÉDIO DE PASSAGEM ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS (1 cm), POR SÍTIO. A LINHA VERMELHA REPRESENTA A TENDÊNCIA DE DECAIMENTO DO TEMPO NAS DISTINTAS CLASSES.....	100
FIGURA 27 -	CURVAS DE INCREMENTO ACUMULADO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS, NOS QUATRO SÍTIOS DE ESTUDO.....	103
FIGURA 28 -	CURVAS MÉDIAS DE INCREMENTO ACUMULADO DAS ÁRVORES DE <i>I. microdonta</i> EM CADA UM DOS SÍTIOS AVALIADOS.....	104
FIGURA 29 -	MODELO DE WEIBULL DE DIÂMETRO VS IDADE DESENVOLVIDO, E SEU RESPECTIVO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS, PARA O SÍTIO ANHANGAVA.....	106
FIGURA 30 -	MODELO DE WEIBULL DE DIÂMETRO VS IDADE DESENVOLVIDO, E SEU RESPECTIVO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS, PARA O SÍTIO CAPIVARI.....	107

FIGURA 31 - MODELO DE WEIBULL DE DIÂMETRO VS IDADE DESENVOLVIDO, E SEU RESPECTIVO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS, PARA O SÍTIO CARATUVA.....	108
FIGURA 32 - MODELO DE WEIBULL DE DIÂMETRO VS IDADE DESENVOLVIDO, E SEU RESPECTIVO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS, PARA O SÍTIO SETE.....	109
FIGURA 33 - RECONSTRUÇÕES CLIMÁTICAS DESENVOLVIDAS, CONSIDERANDO A MÁSCARA TEMPORAL UTILIZADA EM CADA SÍTIO. A ÁREA HACHURADA CORRESPONDE AOS PERÍODOS RECONSTRUÍDOS.....	148

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DOS DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCAIS.....	50
TABELA 2 -	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS CRONOLOGIAS DE <i>I. microdonta</i> NOS QUATRO SÍTIOS DE ESTUDOS.....	58
TABELA 3 -	NÚMERO DE ÁRVORES REMOVIDAS DO CONJUNTO DE DADOS POR SÍTIO, PELA AUSÊNCIA DA MEDULA NA AMOSTRA.....	95
TABELA 4 -	MODELOS DE PRODUÇÃO UTILIZADOS.....	97
TABELA 5 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS ÁRVORES DE <i>I. microdonta</i> NOS DIFERENTES SÍTIOS ESTUDADOS.....	98
TABELA 6 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO TEMPO DE PASSAGEM ENTRE OS SÍTIOS.....	102
TABELA 7 -	TEMPO NECESSÁRIO (EM ANOS) PARA ATINGIR OS DIÂMETROS MÍNIMOS ESPERADOS DE 1 cm, 5 cm E 10 cm. ONDE: TEMPO, EM ANOS; IMA – INCREMENTO MÉDIO ANUAL, EM mm.O-1.....	102
TABELA 8 -	RESULTADOS DA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS EM CADA UM DOS SÍTIOS.....	105
TABELA 9 -	FONTES DE ARQUIVOS NATURAIS, OU <i>PROXIES</i>	138
TABELA 10 -	MÁSCARAS TEMPORAIS UTILIZADAS EM CADA SÍTIO, PARA AJUSTE DOS MODELOS DE RECONSTRUÇÃO.....	141
TABELA 11 -	RECONSTRUÇÕES CLIMÁTICAS COM MODELOS ROBUSTOS (CE E RE POSITIVOS), CONSIDERANDO A MÁSCARA TEMPORAL UTILIZADA.....	143
TABELA 12 -	ESTATÍSTICAS DAS RECONSTRUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O SÍTIO ANHANGAVA. NOTA: NS* = NÃO SIGNIFICATIVO (VALORES DE RE E/OU CE NEGATIVOS).....	144
TABELA 13 -	ESTATÍSTICAS DAS RECONSTRUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O SÍTIO CAPIVARI. Nota: ns* = não significativo (valores de RE e/ou CE negativos).....	145
TABELA 14 -	ESTATÍSTICAS DAS RECONSTRUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O SÍTIO CARATUVA. Nota: ns* = não significativo (valores de RE e/ou CE negativos).....	146

TABELA 15 - ESTATÍSTICAS DAS RECONSTRUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O SÍTIO SETE. Nota: ns* = não significativo (valores de RE e/ou CE negativos).....	147
--	-----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	21
2	MATERIAL E MÉTODOS GERAL	24
2.1	DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	24
2.1.1	Localização e acesso	24
2.1.2	Geologia e geomorfologia.....	27
2.1.3	Solos.....	28
2.1.4	Clima	29
2.1.5	Histórico das áreas	30
2.2	SELEÇÃO DA ESPÉCIE	32
2.2.1	<i>Ilex microdonta</i> Reissek (Aquifoliaceae).....	33
2.3	COLETA DAS AMOSTRAS.....	35
2.4	PREPARO DAS AMOSTRAS.....	36
	REFERÊNCIAS	37
3	DENDROCLIMATOLOGIA DE <i>Ilex microdonta</i> REISSEK (AQUIFOLIACEAE) EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSE ALTOMONTANA NO SUL DO BRASIL	42
	RESUMO.....	42
3.1	INTRODUÇÃO.....	43
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	48
3.2.1	Análise de dados	48
3.2.2	Dados climáticos.....	49
3.2.2.1	Dados locais	49
3.2.2.2	Dados globais.....	52
3.2.2.3	Índice de Seca.....	52
3.2.3	Análise de dados climáticos	53
3.3	RESULTADOS	58
3.3.1	Construção das cronologias	58
3.3.2	Relações climáticas.....	62
3.3.2.1	Dados locais	62
3.3.2.2	Dados globais e teleconexões.....	66
3.4	DISCUSSÃO	69
3.4.1	Dendrocronologia	69

3.4.2	Relações climáticas	71
3.5	CONCLUSÕES.....	77
	REFERÊNCIAS	78
	ANEXO 1	88
	ANEXO 2.....	89
	ANEXO 3.....	90
	ANEXO 4.....	91
4	MODELAGEM E TRAJETÓRIAS DE CRESCIMENTO DE <i>Ilex microdonta</i> REISSEK (AQUIFOLIACEAE) EM FLORESTA ATLÂNTICA DE ALTITUDE NO SUL DO BRASIL	92
	RESUMO	92
4.1	INTRODUÇÃO.....	93
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	95
4.3	RESULTADOS	98
4.3.1	Dados biométricos	98
4.3.2	Modelos alométricos.....	104
4.4	DISCUSSÃO	110
4.5	CONCLUSÕES.....	113
	REFERÊNCIAS	114
	ANEXO 5.....	120
	ANEXO 6.....	124
	ANEXO 7	128
	ANEXO 8.....	132
5	CRONOLOGIAS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO DE <i>Ilex microdonta</i> REISSEK (AQUIFOLIACEAE) COMO <i>PROXIES</i> EM RECONSTRUÇÕES CLIMÁTICAS NA FLORESTA ATLÂNTICA NO SUL DO BRASIL.....	136
	RESUMO	136
5.1	INTRODUÇÃO.....	137
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	140
5.2.1	Reconstruções climáticas	140
5.3	RESULTADOS	143
5.4	DISCUSSÃO	150
5.5	CONCLUSÕES.....	153
	REFERÊNCIAS	154

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	159
	REFERÊNCIAS GERAIS	161

1 INTRODUÇÃO GERAL

[...] Às 13h45, chegaram ao Campo Inclinado (na altura do atual Abrigo de Pedra). Transmutando-se a flora, Maack permanece envolto com seus instrumentos, anotações e cuidadosas observações enquanto liberava seus companheiros, Mysing, Stamm e um tropeiro para explorar um pouco adiante, apesar do adiantado da hora. Benedito tentou segui-los, mas breve retorna exaurido. Josias estava extenuado pelo esforço do transporte da pesada carga, permanecendo na ajuda dos trabalhos científicos. Os dois escaladores persistem, apesar das imensas dificuldades intercorrendo paragens inéditas por entre fragais de granitos expostos, radiculares e vegetação virente sobressaindo-se às copas baixas das vilosidades entumecidas por caratuvas. Próximo ao final, num estreito rechã, assoma uma parede vertical cindida por intrigantes traços silhares dando a impressão de hieróglifos ou mensagens cabalísticas... Finalmente, logram alcançar o páramo descalvado do Pico Paraná. Gritos de júbilo e o espolcar de 2 rojões anunciaram a vitória sobre o ponto mais alto do Paraná (1877m). Estavam no dia 13 de julho de 1941 e deixam uma placa provisória trazendo gravado o nome de todos os expedicionários. Estava conquistado o ponto culminante! [...]

A breve descrição da conquista do Pico Paraná (SCHMIDLIN, 2013) em 1941 trouxe ao mundo um pouco da história de Reinhard Maack, geólogo alemão que foi considerado o “descobridor” da montanha de maior elevação do Sul do Brasil (MAACK, 2012). Os 1877 m de altitude que separam o nível do mar do seu cume estão entremeados por uma infinidade de ecossistemas, aos quais se incluem as florestas ocorrentes das encostas da Serra do Mar.

Mais próximas dos cumes das montanhas encontram-se duas tipologias bastante distintas das demais, segundo Maack (2012): as florestas nebulares e os campos de altitude, com seus “vastos e belos campos de caratuvas”. Suas incursões iniciais pelo Marumbi, e, posteriormente, em outras montanhas da Serra possibilitaram ao geólogo alemão avançar nos estudos científicos a respeito da “Geografia Física do estado do Paraná”, obra mítica que serve de base para o conhecimento natural paranaense até os dias de hoje. Essas descobertas permitiram que a ciência pudesse adentrar ambientes inóspitos, pouco ou raramente frequentados por populações antigas, mas que estariam em perfeita sintonia com a sua contínua evolução natural.

Em relação ao componente florestal dessas altitudes mais elevadas da Serra do Mar, fruto dessa pesquisa, as florestas tropicais nebulares de montanha (TMCF – *Tropical Montane Cloud Forests*) são um ecossistema único dentre todos os existentes do planeta. As características intrínsecas dessas florestas, como a morfologia vegetal, estoque de nutrientes no solo, sua gênese pedológica e outros

fatores são preponderantes para que sua sobrevivência nos ambientes seja garantida (HAMILTON et al., 1995).

No Brasil, esses ambientes são encontrados principalmente nas elevadas vertentes da Serra do Mar ao longo do litoral brasileiro, bem como na borda dos planaltos de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, acima dos limites da Floresta Atlântica das encostas, aproximadamente entre 1100 e 1200 metros sobre o nível do mar (FALKENBERG; VOLTOLINI, 1995). No Paraná, são encontrados os grandes maciços florestais altomontanos nos topos e cumeeiras da Serra do Mar (MAACK, 2012).

Os ambientes altomontanos no Estado do Paraná ainda permanecem íntegros, com um elevado grau de conservação, mesmo com a exploração turística que esses ambientes estão passando, nos últimos anos. Sua composição florística-estrutural já foi fruto de inúmeras pesquisas (RODERJAN, 1994; PORTES et al., 2001; KOEHLER et al., 2002; BROTTTO et al., 2007; SCHEER; MOCOCHINSKI, 2009; BLUM et al., 2011; SCHEER et al., 2011a, 2011b; VIEIRA et al., 2014), entretanto, alguns aspectos ainda carecem de estudos, principalmente em relação à dinâmica de crescimento das espécies, e as relações desta dinâmica com fatores extrínsecos, como a variabilidade climática as quais as florestas estão sujeitas.

Deste modo, este trabalho de tese procurou entender esta dinâmica, com base na análise dos anéis de crescimento do lenho de árvores adultas de *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae), espécie típica dessas formações, constituindo-se em importante base de informações, visando o conhecimento das condições climáticas e ambientais pretéritas e atuais. O presente trabalho de tese será estruturado em três capítulos, assim intitulados:

No primeiro capítulo, “Dendroclimatologia de *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) em Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Sul do Brasil” buscou-se estabelecer relações a respeito dos atributos dendrocronológicos da espécie e suas relações com as variáveis climáticas locais e os sistemas de circulação atmosférica globais, e suas respectivas teleconexões.

No segundo capítulo, “Modelagem e trajetórias de crescimento de *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) em Floresta Atlântica de altitude no Sul do Brasil” foram analisadas as trajetórias de crescimento, por meio dos índices de largura dos

anéis de crescimento da espécie, buscando estabelecer os modelos que melhor representam a relação diâmetro *versus* idade nos diferentes sítios amostrados.

No terceiro capítulo, “Cronologias de *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) como proxies em reconstruções climáticas na Floresta Atlântica no Sul do Brasil”, procurou-se reconstruir a variabilidade climática local, em períodos desprovidos de dados instrumentais com base nos índices dos anéis de crescimento da espécie.

Toda a amostragem referente aos três capítulos foi realizada nas mesmas áreas de estudo, portanto a descrição dessas áreas será feita nesta seção.

2 MATERIAL E MÉTODOS GERAL

2.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

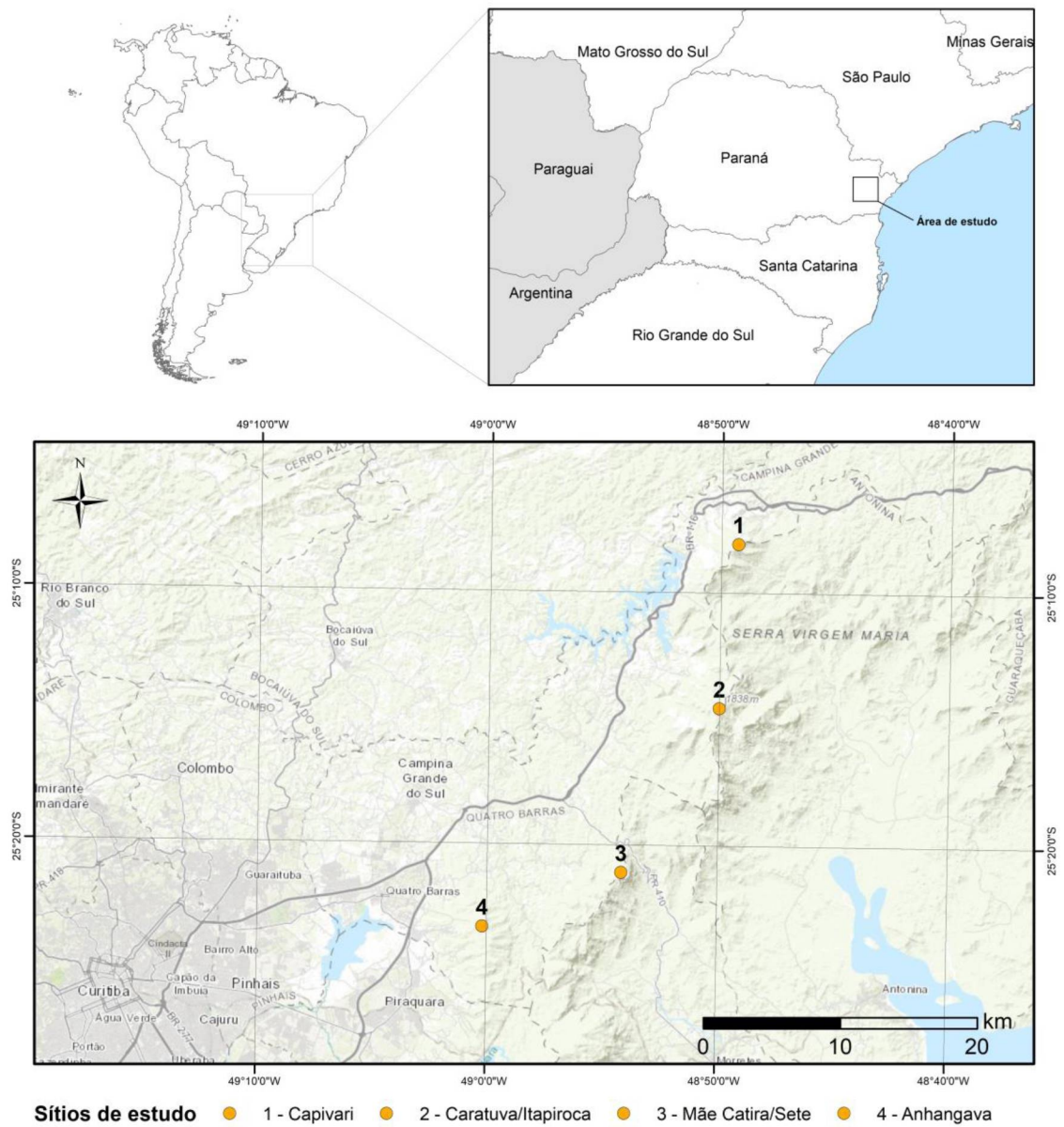
2.1.1 Localização e acesso

Foram selecionadas quatro grandes Serras para essa pesquisa (FIGURA 1), e em cada serra, as montanhas com maior altitude e representatividade de formações florestais altomontanas: Pico Capivari Grande (1.632 m s.n.m.), na Serra do Capivari (CP); Pico Caratua e Pico Itapiroca (1.850 m s.n.m. e 1.810 m s.n.m., respectivamente), na Serra do Ibitiraquire (CR); Pico Mãe Catira e Morro do Sete (1.430 m s.n.m. e 1.310 m s.n.m., respectivamente), na Serra da Farinha Seca (SE); e por fim o Morro do Anhangava (1.430 m s.n.m.), na Serra da Baitaca (AN) (FIGURA 2).

Todas essas montanhas localizam-se na porção oriental do estado do Paraná (BIGARELLA, 1978), junto à Serra do Mar, inseridos nos municípios de Campina Grande do Sul (CP), Antonina (CR), Morretes (SE) e Quatro Barras (AN), entre as coordenadas geográficas 25°12'S e 25°24'S e 48°52'W e 49°02'W, aproximadamente.

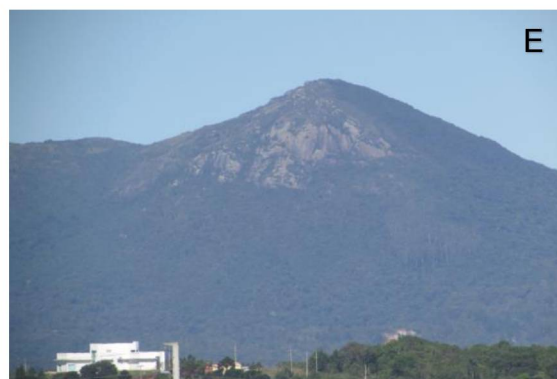
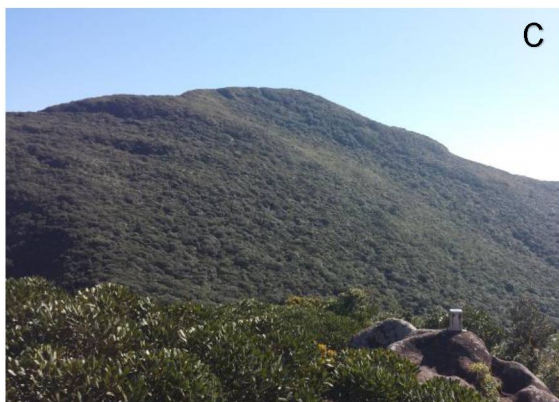
O acesso principal, para todas as áreas de estudo, ocorre pela Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), e daí em diante, por estradas secundárias. Em cada uma das montanhas supracitadas o acesso às áreas contíguas de floresta altomontana se dá por trilhas marcadas no terreno, variando o nível de dificuldade, geralmente de grau médio a difícil, e tempo de caminhada, normalmente, entre 3h a 4h de subida.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 2 – IMAGENS DAS ÁREAS DE ESTUDO. A – PICO CAPIVARI, EM SUA VERTENTE NORTE. B – PICOS CARATUVA (A ESQUERDA) E ITAPIROCA (A DIREITA); C – PICO MÃE CATIRA, EM SUA VERTENTE ORIENTAL. D – MORRO SETE, VISTO A PARTIR DA ESTRADA DA GRACIOSA. E – MORRO DO ANHANGAVA, VISTO A PARTIR DE QUATRO BARRAS.



FONTE: A, C, D e E; O autor (2019). B; Dieter (2019).

2.1.2 Geologia e geomorfologia

A Serra do Mar no estado do Paraná compreende uma série de intrusões de grandes corpos graníticos em sua fisionomia. A cada uma dessas intrusões, os antigos habitantes indígenas da região os denominavam conforme suas características (MAACK, 2012). As rochas que formam toda a Serra do Mar são de idade Proterozóica Superior e Paleozóica, compostas por granitos subalcalinos, de formas poliédricas a irregulares (FIGURA 3), com corpos discordantes a arredondados e álcali-graníticos (MINEROPAR, 2001). Tanto a Serra do Capivari, quanto Ibitiraquire e Farinha Seca, onde se encontram os sítios CP, CR e SE são formados pelo Granito Graciosa, enquanto o sítio AN é formado pelo Granito Anhangava (MINEROPAR, 2006).

A Serra do Mar constitui uma serra marginal típica, elevando-se de 500 a 1000 m sobre o nível médio do primeiro planalto paranaense (IAP, 1996). A formação da Serra do Mar compreende a inserção de duas unidades morfoestruturais bastante distintas, mas que influenciaram a forma como a própria vegetação ocupou esse setor: o Ciclo Brasileiro Pan-Africano, de sentido NE-SW, e o Arco de Ponta Grossa, de sentido NW-SE (MELO et al., 2000; MILANI et al., 2007; FRANCO-MAGALHÃES et al., 2010). Enquanto a Serra do Mar apresenta seu lineamento principal na direção do Brasileiro, todos os grandes falhamentos ocorrentes na Serra seguem a direção do Arco de Ponta Grossa, inclusive com a presença de diques de diabásio nos setores mais evidentes da paisagem (SAVI, 2008). O processo de esculpimento do relevo atual se deu principalmente por agentes morfoclimáticos ao longo dos tempos, e assim a ocupação desse setor pela vegetação foi facilitado, não obstante à formação e gênese dos solos ali localizados.

FIGURA 3 - GRANDES BLOCOS GRANÍTICOS FORMAM A PAISAGEM DA SERRA DO MAR. NA IMAGEM, PICO PARANÁ, MAIOR ELEVACÃO DO SUL DO BRASIL.

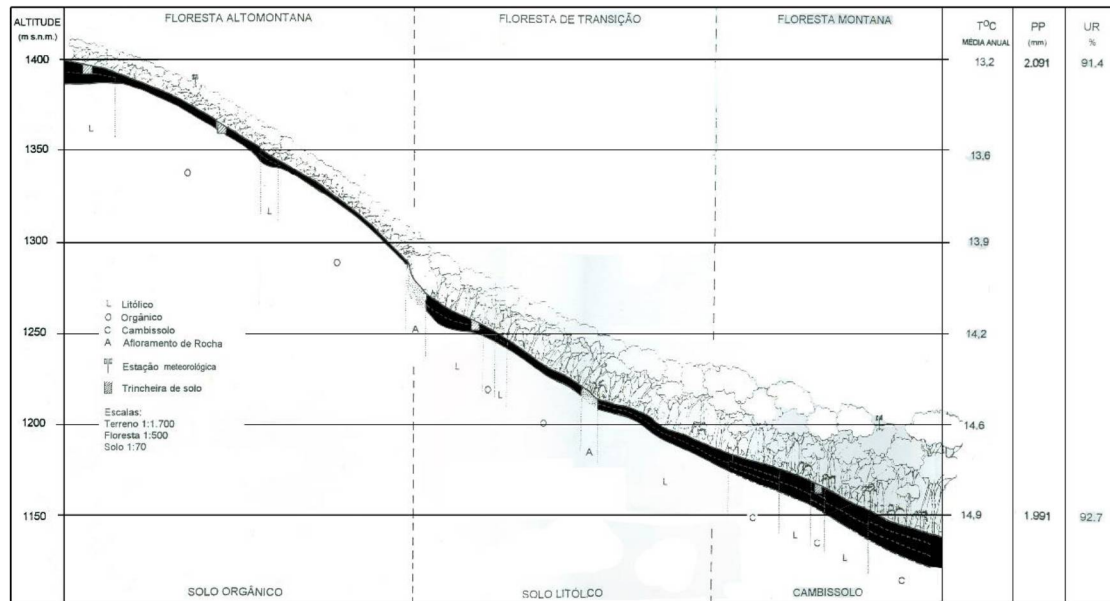


FONTE: O autor (2019).

2.1.3 Solos

Nos ambientes altomontanos paranaenses são observados Neossolos Litólicos, Organossolos e, também, Cambissolos (VASHCHENKO et al., 2007) nas porções de transição, com ampla ocorrência de afloramentos de rocha e horizontes hísticos e/ou húmicos (FIGURA 4). Rochas de diferentes tamanhos, em decorrência do fraturamento da rocha-mãe são observados frequentemente dentro das florestas altomontanas, sendo que sua própria existência configura em variações microtopográficas que auxiliam na formação dos solos e, principalmente, no acúmulo de matéria orgânica. São geralmente ácidos, com altas concentrações de alumínio e pouco profundos – frequentemente o contato lítico se dá antes dos 50cm de profundidade (SCHEER et al., 2011a).

FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS NAS PAISAGENS ALTOMONTANAS DO MORRO ANHANGAVA.



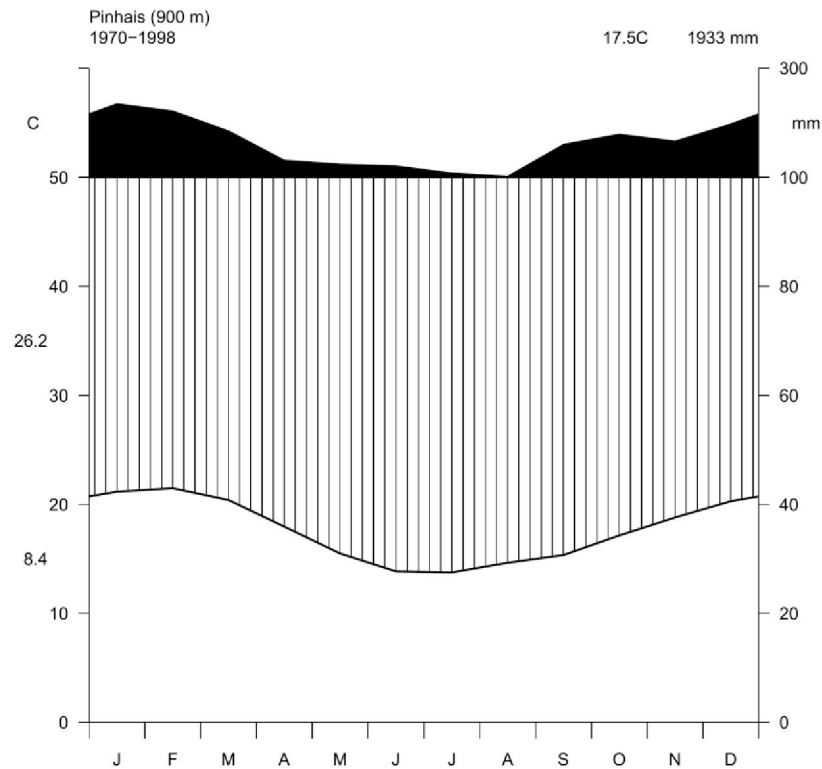
FONTE: Adaptado de Roderjan (1994).

2.1.4 Clima

As áreas de estudo apresentam um zoneamento climático fortemente influenciado pela compartimentação regional do relevo e pelo desnivelamento altimétrico, o que produz discontinuidades no padrão de distribuição espacial e temporal dos regimes de precipitação e temperatura (MIRANDA, 2015). O efeito orográfico, causado pelas fortes alterações no relevo, reduz a temperatura média em 0,56 °C a cada 100m de altitude, bem como gera índices pluviométricos muito acima dos observados no planalto, podendo atingir mais de 3000mm anualmente (BIGARELLA, 1978; SAVI, 2008; MAACK, 2012).

Em função também da orogenia da Serra, há a constante interceptação da nebulosidade pela vegetação, com índices de cobertura de nuvens que podem ultrapassar os 90% nas épocas de maior precipitação (BIGARELLA, 1978; RODERJAN, 1994). O tipo climático para a região é caracterizado pelo tipo Cfb, segundo a classificação de Koeppen (ALVARES et al., 2013) - subtropical úmido mesotérmico - com temperaturas médias nos meses mais quentes inferiores à 22 °C e nos meses mais frios abaixo entre 18 °C e -3 °C (FIGURA 5), sem ocorrência de estação seca bem definida (RODERJAN, 1994).

FIGURA 5 – DIAGRAMA CLIMÁTICO PARA A CIDADE DE PINHAIS, PRÓXIMA A SERRA DO MAR, NO PRIMEIRO PLANALTO PARANAENSE, CONSTRUÍDO CONFORME Walter e Lieth (1967).



FONTE: SNIHR (2018).

2.1.5 Histórico das áreas

No Pico Capivari e no Morro Anhangava há evidências de intervenção humana no ambiente montano, principalmente pelo uso do fogo, controlado ou não, para a limpeza de área (FIGURA 6), plantio de espécies arbóreas exóticas e eventual manutenção dos campos de altitude para pastoreio de animais (IAP, 2017). Entretanto, essas intervenções são observadas em porções que não atingem as áreas contínuas de floresta altomontana, nem mesmo os campos hidromórficos de altitude.

FIGURA 6 - EVIDÊNCIAS DE FOGO NA PAISAGEM DE CAMPOS ALTOMONTANOS NÃO HIDROMÓRFICOS, NO PICO CAPIVARI, EM ÁREA NÃO FLORESTAL, NÃO AMOSTRADA.



FONTE: O autor (2019).

Em setembro de 2007, foi documentado um grande incêndio florestal na crista noroeste do Pico Caratuva, que impactou severamente a vegetação, com consequências que ainda perduram no ambiente (FIGURA 7). Diversos meios de comunicação reportaram esse trágico incidente para o meio ambiente (BATTISTELLI, 2007; GATTI, 2007; KLOSTERMANN, 2007; ROSSI, 2007; HAUCK, 2012). Mesmo com esse evento, as florestas altomontanas estudadas estão em patamares bem acima da área atingida pelo incêndio, em porção oposta ao pequeno vale formado por um rio. Na mesma Serra, não são documentados incêndios ou outros meios de intervenção para o Pico Itapiroca, adjacente ao Pico Caratuva.

FIGURA 7 - À ESQUERDA, VISTA DO PICO CARATUVA EM 2004, ANTES DA OCORRÊNCIA DO INCÊNDIO. À DIREITA, EM 2014, PICO CARATUVA COM EVIDÊNCIAS DO INCÊNDIO FLORESTAL OCORRIDO EM 2007.



FONTE: O autor (2019).

O Pico Mãe Catira e o Morro do Sete, da mesma maneira que o Pico Itapiroca, não apresentam registros de intervenções - naturais ou antrópicas, em suas áreas de vegetação arbórea. O que se tem hoje, graças às novas tecnologias de mapeamento com imagens aéreas, é a abertura de clareiras em áreas de campo altomontano, para posicionamento de barracas para acampamentos e outros meios de bivaque, porém sem interferência das áreas de floresta altomontana.

O difícil acesso, associado a áreas fortemente escarpadas garantem a manutenção e conservação das florestas em relação ao quesito da dinâmica natural da vegetação florestal, nos ambientes altomontanos avaliados.

2.2 SELEÇÃO DA ESPÉCIE

As florestas altomontanas da Serra do Mar do Paraná já foram alvo de inúmeros estudos a respeito de sua florística e fitossociologia (RODERJAN, 1994; PORTES et al., 2001; KOEHLER et al., 2002; BROTTTO et al., 2007; VASHCHENKO et al., 2007; SCHEER; MOCOCHINSKI, 2009; BLUM et al., 2011; SCHEER et al., 2011b; VASHCHENKO; BIONDI, 2013; SCHEER et al., 2013; VIEIRA et al., 2014). Em todos os trabalhos é notável a presença de *Ilex microdonta*, uma espécie ocorrente em todos os conjuntos de serras. Além de estar presente em todas as montanhas avaliadas, essa espécie é a que apresenta o maior parâmetro fitossociológico de Valor de Importância (VI) com altos índices de abundância e frequência, relativa e absoluta (RODERJAN, 1994; PORTES et al., 2001; KOEHLER et al., 2002).

2.2.1 *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae)

Ilex microdonta, popularmente conhecida como caúna, congonha ou congoinha é uma espécie de hábito arbustivo ou arbóreo, variando entre 2 a 7 m de altura. Possui fuste ereto, apresentando tortuosidades e inclinações, com casca externa de coloração creme, casca interna silicada, possui folhas com o limbo oboval, coriáceo, com margem denteada nos 2/3 distais, facilitando sua identificação em campo (FIGURA 8). As fenofases reprodutivas são encontradas desde outubro (floração) até março (frutificação) (EDWIN; REITZ, 1967; BROTTTO et al., 2007; GROPPPO, 2015).

FIGURA 8 – EXSICATA DE *I. microdonta*, COM DETALHE DAS FOLHAS OBOVADAS COM OS 2/3 DISTAIS SERREADOS, E FRUTO MADURO.



FONTE: O autor (2019).

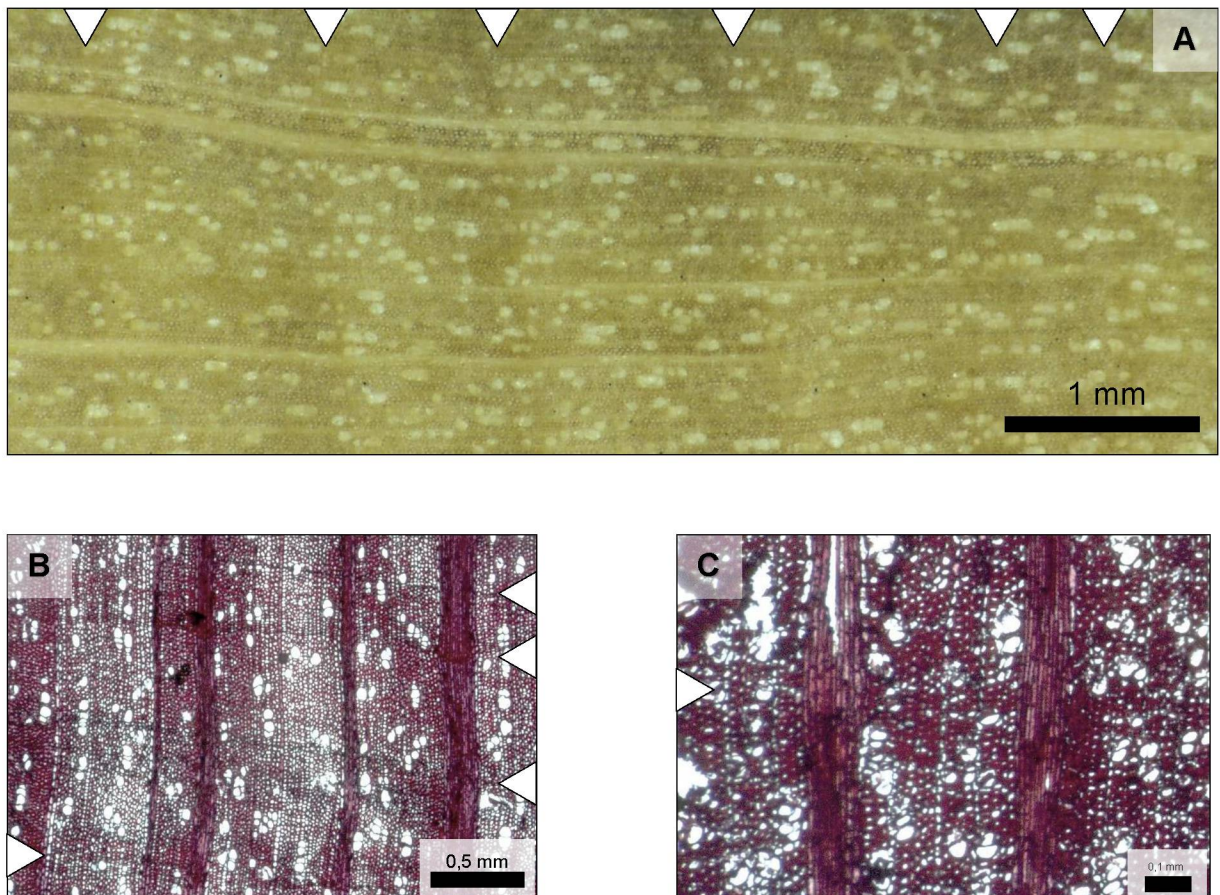
Espécie considerada endêmica do Brasil (GROPPPO, 2015), é considerada uma não-pioneira (WHITMORE, T. C., 1989), encontrada principalmente nas maiores elevações das encostas pluviais da floresta atlântica, comumente chamadas de “matinhas nebulares” (EDWIN; REITZ, 1967), onde se associa com diversos outros táxons, inclusive do mesmo gênero. Ainda, há estudos que reportam a presença da

espécie nos planaltos de altitude dos estados sulinos do Brasil (MEYER et al., 2013; WATZLAWICK et al., 2013; PSCHIEDT et al., 2015).

Apresenta densidade variando entre 0,48 a 0,67 g/cm³ (MARTINS et al., 2004; SOBOLESKI et al., 2017), com coloração da madeira amarelo-creme e, no passado, relatos indicam o seu uso para fins energéticos e caixotaria, e até mesmo na adulteração de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) (EDWIN; REITZ, 1967).

Ainda, sob o ponto de vista anatômico, para análises dendrocronológicas é imprescindível que a espécie tenha camadas de crescimento visíveis (WORBES, 1995). Dentre as demais espécies ocorrentes nos ambientes altomontanos, *I. microdonta* obteve destaque em função da visibilidade das camadas de crescimento (FIGURA 9), formação de anéis de crescimento anuais e por terem sido desenvolvidas cronologias com a espécie (MIRANDA, 2015).

FIGURA 9 - ANATOMIA MACROSCÓPICA (A) E MICROSCÓPICA (B e C) DE *Ilex microdonta* (SETAS BRANCAS INDICAM A DEMILITAÇÃO DOS ANÉIS). (C) RAIOS DILATADOS NOS LIMITES DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DA ESPÉCIE.



FONTE: O autor (2019).

Cosmo (2012) verificou a formação das camadas de crescimento em *Ilex theezans*, com distinção abrupta entre elas, e delimitação pelo achatamento radial das paredes das fibras no lenho tardio e presença de porosidade difusa, características semelhantes às encontradas por Miranda (2015), que também identificou dilatação tangencial nos raios mais espessos, associada ao maior espessamento das paredes das fibras no limite do anel de crescimento.

Foi coletado material vegetal com fenofases vegetativas e reprodutivas, para confecção de exsicatas e posterior tombamento. Dois vouchers estão tombados no Herbário EFC (Escola de Florestas de Curitiba), sob os números de tombo EFC17670 (CR) e EFC17703 (CP).

2.3 COLETA DAS AMOSTRAS

Sucessivas campanhas de campo foram realizadas entre dezembro de 2013 e dezembro de 2017 visando a obtenção de amostras do lenho de árvores de *I. microdonta* nas quatro diferentes montanhas. Todas as árvores amostradas foram tratadas como unidades amostrais independentes, e tiveram como critério de seleção o diâmetro mínimo de 10 cm (aproximadamente 32 cm de circunferência) à altura do peito (DAP ~ 1,30 m do solo), e que não estivessem bifurcadas na altura da coleta, também à 1,30 m do solo. Caso estas tivessem algum dano aparente (nó, cancro visível, podridão ou fuste acanalado), a amostragem foi realizada imediatamente abaixo do dano, procurando obter uma seção do tronco mais circular possível. Foram amostradas 30 árvores por montanha, totalizando um universo amostral de 120 árvores, e 480 seções transversais radiais.

Em cada uma das árvores amostradas foram tomados dados de DAP e Altura Total, bem como um ponto georreferenciado, com o uso de um Garmin GPSmap 60CSx, onde se obteve dados de latitude, longitude e altitude, com precisão de aproximadamente 3 m para dados planimétricos, e 5 m para dados altimétricos.

Foi considerada na hora da tomada da amostra a declividade do terreno, que define geralmente um grau de inclinação das árvores, e associado a isso, uma taxa de excentricidade da medula, que pode estar deslocada para compensar o esforço mecânico.

Foram tomadas duas amostras diametralmente opostas, constituindo quatro raios, ou séries temporais radiais, por árvore, com o uso de trado de incremento de

Pressler (5 mm de diâmetro). Procurou-se, sempre que possível, atingir a medula para se obter a série completa de anéis de crescimento das árvores. As amostras foram acondicionadas em canudos plásticos, identificando-as para posterior controle e preparo em laboratório.

2.4 PREPARO DAS AMOSTRAS

As amostras do lenho foram orientadas sobre suportes de madeira, secas a temperatura ambiente, por cerca de 3 dias, sendo posteriormente coladas. Na sequência, as amostras foram submetidas ao polimento de suas seções transversais com uso de lixas de diferentes granulometrias, seguindo uma sequência crescente (80-1200), a fim de melhor evidenciar macroscopicamente os limites dos anéis de crescimento (WORBES, 1995).

Posteriormente, as amostras tiveram os limites dos anéis de crescimento demarcados macroscopicamente, com o auxílio de uma lupa estereoscópica Leica S8AP0, acoplada a um conjunto de iluminação óptico Leica CLS150X.

Após a demarcação dos anéis de crescimento, as amostras foram digitalizadas com o uso de um scanner HP Scanjet G4050, e resolução de 1200 *dpi*. As imagens obtidas foram processadas em *softwares* de imagens com o intuito de destacar os limites dos anéis de crescimento. Em seguida, foram medidas as larguras dos anéis de crescimento com o *software* Image Pro Plus, mediante calibração inicial na rotina de medição. A partir desse ponto, os dados gerados foram operacionalizados em planilhas digitais de cálculo.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- BATTISTELLI, C. T. **Cheida requer apoio do exército para conter incêndio no Pico Paraná**. Disponível em: <<http://www.alep.pr.gov.br/divulgacao/noticias/cheida-requer-apoio-do-exercito-para-conter-incendio-no-pico-parana-1>>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado e Planejamento, 1978.
- BLUM, C. T. et al. O clima e sua influência na distribuição da Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Morretes, Paraná. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 589–598, 2011.
- BROTTO, M. L. et al. Flórula do Morro dos Perdidos, Serra de Araçatuba, Paraná, Brasil: Aquifoliaceae. **Estudos de Biologia**, v. 29, n. 67, p. 129–135, 2007.
- COSMO, N. L. **Ecologia do lenho de 19 espécies nativas do estado do Paraná**. 80 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- EDWIN, G.; REITZ, P. R. Aquifoliáceas. In: Reitz, P. R. (Ed.). **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1967. p. 47.
- FALKENBERG, D. B.; VOLTOLINI, J. C. The Montane Cloud Forest in Southern Brazil. In: HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. (Eds.). **Tropical Montane Cloud Forests**. New York: Springer-Verlag, 1995. p. 138–149.
- FRANCO-MAGALHÃES, A. O. B. et al. Exumação tectônica e reativação de paleolineamentos no Arco de Ponta Grossa : termocronologia por traços de fissão em apatitas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 184–195, 2010.
- GATTI, G. **Reflexões sobre o incêndio que destruiu grande parte da vegetação no Parque Estadual do Pico Paraná, localizado na Serra do Mar**. Disponível em: <<http://altamontanha.com/gustavo-gatti-fala-sobre-o-incendio-no-caratuva/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

GROPPO, M. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**: Aquifoliaceae. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015.

HAMILTON, L. S. et al. **Tropical Montane Cloud Forests**. New York: Springer-Verlag, 1995.

HAUCK, P. **5 anos do incêndio no Caratuva**. Disponível em: <<http://altamontanha.com/5-anos-do-incendio-do-caratuva/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Marumbi**. Curitiba: SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 1996.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Baitaca**. Curitiba: SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 2017.

KLOSTERMANN, F. **Incêndio destrói Parque Estadual Pico Paraná**. Disponível em: <<https://www.tribunapr.com.br/noticias/parana/incendio-destroi-parque-estadual-pico-parana/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

KOEHLER, A. et al. Floresta Ombrófila Densa Altomontana: aspectos florísticos e estruturais de diferentes trechos na Serra do Mar, PR. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 27–39, 2002.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3 ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MARTINS, D. G. et al. Determinação da densidade básica da madeira de congonha (*Ilex microdonta* Reiss.) ao longo do fuste. **Ciência & Natura**, v. 26, n. 2, p. 33–42, 2004.

MELO, M. S. et al. Gênese e Evolução da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR. **Revista do Instituto Geológico**, v. 21, n. 1, p. 17–31, 2000.

MEYER, L. et al. Fitossociologia do componente arbóreo/arbustivo da Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. (Eds.). **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**. Blumenau: Edifurb, 2013. p.157–189.

MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ. **Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ. **Mapa Geológico do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2006.

MIRANDA, B. P. **Dendroecologia de *Ilex microdonta* Reissek e *Drimys brasiliensis* Miers em dois ambientes altomontanos da Serra do Mar, Paraná, Brasil**. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PORTES, M. C. G. O. et al. Caracterização florística e estrutural de uma floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro do Anhangava, Quatro Barras–PR. **Floresta**, v. 31, n. 2, p. 1-10, 2001.

PSCHEIDT, F. et al. Variações florístico-estruturais da comunidade arbórea associadas à distância da borda em um fragmento florestal no planalto sul-catarinense. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 421–430, 2015.

RODERJAN, C. V. **O gradiente da Floresta Ombrófila Densa no Morro Anhangava, Quatro Barras, PR - Aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos**. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

ROSSI, G. **Montanhistas entram na luta contra incêndio, que permanece fora de controle**. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/montanhistas-entram-na-luta-contra-incendio-que-permanece-fora-de-controle-an68ot2gs0hgpp4aa42trwojy/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

SAVI, M. **Análise ecossistêmica da Serra do Mar paranaense: Área de Especial Interesse Turístico do Marumbi**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SCHEER, M. B. et al. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1113–1126, 2011a.

SCHEER, M. B. et al. Estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de serras do Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 1, p. 735-750, 2011b.

SCHEER, M. B. et al. Carbon and Water in Upper Montane Soils and Their Influences on Vegetation in Southern Brazil. **ISRN Soil Science**, v. 2013, p. 1–12, 2013.

SCHEER, M. B.; MOCOCHINSKI, A. Y. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 2, p. 51–69, 2009.

SCHMIDLIN, H. P. **A conquista do Pico Paraná**. Disponível em: <<http://altamontanha.com/a-conquista-do-pico-parana/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

SNIRH - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. **Portal HidroWeb**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SOBOLESKI et al. Variação de atributos funcionais do componente arbóreo em função de gradientes edáficos em uma floresta nebulosa no sul do Brasil. **Rodriguésia**, v. 68, n. 2, p. 291–300, 2017.

VASHCHENKO, Y.; BIONDI, D. Percepção da erosão pelos visitantes nas trilhas do Parque Estadual do Pico Marumbi, PR. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 108–118, 2013.

VASHCHENKO, Y. et al. Solos e Vegetação dos Picos Camacua, Camapuã e Tucum - Campina Grande do Sul - PR. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 4, p. 411–419, 2007.

VIEIRA, R. S. et al. Floresta Ombrófila Densa Altomontana Na Serra Do Capivari, Campina Grande Do Sul, Paraná. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 565–576, 2014.

WALTER, F. W.; LIETH, H. **Klimadiagramm-Weltatlas**. Jena, v. 1, 1967.

WATZLAWICK, L. F. et al. Florística, estrutura e distribuição espacial em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula (RS). **Revista Ambiência**, v. 9, n. 1, p. 113–128, 2013.

WHITMORE, T. C. Canopy Gaps and the Two Major Groups of Forest Trees. **Ecological Society of America**, v. 70, n. 3, p. 536–538, 1989.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in Tropical Trees. **IAWA Journal**, v. 16, n. 4, p. 337–351, 1995.

CAPÍTULO 1

3 DENDROCLIMATOLOGIA DE *Ilex microdonta* REISSEK (AQUIFOLIACEAE) EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA NO SUL DO BRASIL

RESUMO

Compreender como a variabilidade do clima interfere na expressão da vegetação e no crescimento de árvores ao longo do tempo é de grande importância dado um cenário atual de mudanças climáticas. Os efeitos que as mudanças promovem nos ambientes podem ser registradas pelas árvores em seus anéis de crescimento que, ao sincronizar eventos em diferentes indivíduos, tornam-se proxies bastante confiáveis para se entender a variabilidade climática. Nesse contexto, esse capítulo teve por objetivo construir cronologias de anéis de crescimento de *Ilex microdonta*, uma espécie típica das formações altomontanas da Serra do Mar paranaense, com vistas a entender sua relação com variáveis climáticas locais e globais. Foram tomadas amostras de 120 árvores em quatro diferentes montanhas, que tiveram seus anéis de crescimento sincronizados e estandardizados, e estatísticas de confiança geradas pelos valores de EPS e RBAR. Os dados climáticos locais foram obtidos junto a uma rede de 16 estações meteorológicas, enquanto os dados globais, junto às bases de dados de meta-análise do NOAA, CRU e KNMI. Todas as análises foram desenvolvidas no software R. As cronologias desenvolvidas para cada montanha ultrapassaram os 150 anos, com a mais antiga atingindo 215 anos. Os índices EPS ficaram acima de 0,75, valor considerado adequado para regiões tropicais e subtropicais, enquanto os valores de RBAR ficaram próximos de 0,25. A relação das cronologias com os dados locais indicou que os maiores valores de correlação ocorreram no período de crescimento (primavera e verão), para as variáveis de temperatura mínima e precipitação, enquanto temperatura máxima se apresentou estatisticamente significativa apenas no outono. Os dados climáticos globais indicaram que as correlações mais fortes ocorreram com o Modo Anular Sul, de forma significativa em todo o ano, com maior ênfase também nos períodos de crescimento (verão). As cronologias de anéis de crescimento de *Ilex microdonta* em ambientes altomontanos da Serra do Mar demonstraram eficiência em identificar relações climáticas tanto com variáveis locais quanto globais, sendo um importante proxy para entender como a variabilidade climática afeta o desenvolvimento das florestas de altitude no Paraná.

Palavras-chave: Variabilidade climática; caúna-da-serra, mata nebulosa, teleconexões, cronologias; anéis de crescimento.

3.1 INTRODUÇÃO

Em um cenário em que se discute o aquecimento global e as mudanças climáticas, entender o contexto no qual o clima do planeta está sujeito, a partir do período pós-industrial, torna-se imprescindível para se buscar meios e formas de mitigar os efeitos deletérios dessas alterações climáticas. O planeta atingiu a marca de 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, e a preocupação mundial gira em torno dos impactos de maiores eventos extremos, tanto em frequência quanto em intensidade, recursos, ecossistemas, biodiversidade, áreas urbanas, segurança alimentar, turismo e protocolos de diminuição de emissões de carbono (HOEGH-GULDBERG et al., 2018).

Como o clima no planeta é dinâmico e sua relação com o tempo também é constante, dois fluidos são essenciais para que essa interação ocorra: o ar e a água. A movimentação das massas de ar define a circulação atmosférica, ao passo que os movimentos de água dos oceanos definem as correntes marítimas (SILVA DIAS; SILVA, 2009). Os efeitos dessas interações se dão de maneiras distintas, e em diferentes partes do planeta.

No Brasil, devido às suas dimensões continentais, os diferentes sistemas climáticos têm influências distintas nas regiões do país. A região Sul, devido à sua situação geográfica, na transição entre os trópicos e as latitudes médias, e ainda às suas características geomorfológicas, apresenta grandes contrastes nos regimes de precipitação e de temperatura, além de estar, também, sujeita às oscilações interanuais e interdecenais, que podem produzir alterações do comportamento normal da atmosfera (GRIMM, 2009a).

Ainda que os registros instrumentais do clima não alcancem uma amplitude temporal extensa (maior do que 100 anos), essas variações ao longo do tempo podem ser detectadas através de outros meios – *proxies* –, que podem assumir tanto formas bióticas como abióticas. Uma dessas formas de análise são os anéis de crescimento das árvores que podem registrar as condições climáticas pretéritas (OOSTHOEK, 2018; DUCHESNE et al., 2017), às quais estiveram sujeitas as árvores.

O estudo da variabilidade climática do passado, por meio dos anéis de crescimento das árvores, é fruto dos esforços da dendroclimatologia, uma das áreas de estudo da dendrocronologia (FRITTS, 1976; MCCARROLL et al., 2003). O principal produto desenvolvido por essa técnica são as reconstruções climáticas, que permitem

conhecer o clima pretérito, eventos extremos, mudanças nas variações interanuais e de maior espectro temporal (SHEPPARD, 2010). De todo modo, são necessários estudos primários para entender o comportamento das árvores em resposta às variáveis meteorológicas que afetam o seu desenvolvimento, em especial a temperatura e a precipitação (FRITTS, 1976).

A busca por sítios sensíveis a alterações climáticas é primordial para se maximizar os sinais nas séries de anéis de crescimento, e atende a uma das premissas para estudos dendrocronológicos, dentre eles, o da amplitude ecológica (SPEER, 2010). Assim, se as árvores respondem aos efeitos do clima, e registram essas alterações nos anéis de crescimento, é de se esperar que as séries temporais desses anéis em áreas sensíveis ao clima possam trazer informações a respeito da dinâmica climática de uma região em específico, ou até mesmo a formação de teleconexões, que podem afetar uma região muito distante geograficamente (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009).

A relação entre os eventos climáticos e os efeitos em escala global é conhecida por teleconexão. A expressão “teleconexão” refere-se a um padrão recorrente e persistente de anomalias de uma determinada variável, por exemplo, pressão atmosférica e circulação de grande escala, que cobre vastas regiões geográficas (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009). Esses padrões de teleconexão definem então a relação de anomalias climáticas entre regiões distantes do globo terrestre.

A principal teleconexão que incide sobre a América do Sul, e que atua fortemente sobre o sul do Brasil, é o *El Niño* Oscilação Sul (ENOS). Esse evento é a principal fonte de variabilidade interanual do clima no Brasil, especialmente em relação ao regime anual de precipitação total. O ENOS é uma oscilação do sistema oceano-atmosfera, que produz alterações na temperatura da superfície do mar (TSM, ou *Sea Surface Temperature*, em inglês – SST), na pressão, no vento e na convecção tropical, na região central do Oceano Pacífico, com reflexo no Brasil (GRIMM, 2009b). Por ser um evento de oscilação, sua fase oposta é conhecida por *La Niña* (LN). Durante os episódios do ENOS, ocorre um aquecimento da TSM no Pacífico central leste, ao passo que se esfria a TSM do Pacífico Oeste. Há um aumento da convecção atmosférica para os altos níveis troposféricos, pelo fluxo de calor e umidade, e graças ao funcionamento da célula de Hadley, o transporte desses produtos pode atingir regiões bastante distantes. No Brasil, os efeitos do ENOS se dão de maneira distinta

nas diferentes regiões, mas com evidências mais fortes nas regiões norte, sul e sudeste (CAVALCANTI et al., 2009).

De uma maneira bastante simplificada e com foco no sul do país, os efeitos sobre as taxas de precipitação podem ser avaliados por estação climática, sendo que durante o outono e o inverno, as taxas de precipitação são maiores do que a normal, para essas épocas. Os meses de primavera também apresentam significativas precipitações, explicada muito em função da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nesse período, em que formam fortes teleconexões com a TSM do Pacífico Tropical, em especial no mês de novembro (GRIMM; TEDESCHI, 2009). Entretanto, esse padrão não é verificado nos meses de verão, onde diminuem as correlações com a TSM, em especial do Atlântico Sul. Assim, as anomalias observadas para o sul do Brasil são relativamente fracas e não uniformes (GRIMM, 2009b). Em termos de temperatura, os efeitos desta variável não são tão significativos, embora o desvio padrão interanual seja de aproximadamente 2 °C para o inverno e 1,5 °C para o verão. São observadas anomalias positivas nos subtrópicos da América do Sul (incluindo a região Sul do Brasil) nos períodos de inverno, que são resultado da advecção dos ventos quentes de baixos níveis provenientes do norte do Brasil (GRIMM, 2009b). Em função das relações climáticas com a precipitação, têm-se temperaturas menores nas épocas de primavera e verão.

Fortemente relacionado com os efeitos do ENOS, o IOS (índice de Oscilação Sul) pode ser considerado um índice de desenvolvimento e intensidade do ENOS (ou LN). A fase negativa do IOS é associada a eventos de EN, enquanto a fase positiva, a eventos de LN (METEOROLOGY, 2018), e assim como estes, é relacionado principalmente aos índices de precipitação incidente sobre a região Sul (SCHNEIDER; GIES, 2004; METEOROLOGY, 2018).

Os demais fenômenos atuam de maneira menos intensa sobre o clima regional, embora possam se alimentar de teleconexões entre os próprios fenômenos. Um exemplo é a relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e o ENOS. A ODP é um dos fenômenos que atuam em baixa frequência, ou seja, tem atuação decenal a multidecenal (MANTUA; HARE, 2002), e é considerado um padrão de ENOS de longa duração (KAYANO; ANDREOLI, 2007). Configura-se como um forte sistema de baixa pressão que atua sobre a TSM do Pacífico Central. Os efeitos da ODP têm duração aproximada de 20 a 30 anos, e geralmente com uma transição abrupta, sendo verificados nos últimos 100 anos quatro grandes alterações de regime,

entre 1900-1924 (fase fria), 1925-1946 (fase quente), 1947-1976 (fase fria) e 1977-1990 (fase quente). Os padrões climatológicos envolvidos para o ENOS tendem a serem modulados pela ODP, de modo que quando os dois fenômenos atuam na mesma fase (quente ou fria), os efeitos se dão de forma mais intensa. A ODP cria um ambiente propício que atua construtivamente quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase (KAYANO; ANDREOLI, 2007).

Assim como a ODP, a Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA) também apresenta uma variabilidade de baixa frequência, de escala decenal. Seus efeitos são menos conhecidos, porém afetam diversos parâmetros hidrometeorológicos, como a precipitação e a vazão dos rios. A OMA forma teleconexões principalmente com a ODP, mas também atua sobre a TSM do Atlântico Sul, que por sua vez tem influência direta na ZCAS (ROBERTSON; MECHOSO, 2000; KAYANO; ANDREOLI, 2009).

O Modo Anular Sul (MAS) tem influência direta sobre algumas variáveis meteorológicas, como a pressão atmosférica, altura geopotencial e temperatura, atuando principalmente sobre os oceanos do hemisfério Sul (MARSHALL, 2003). Sua forma de atuação é “circular”, uma vez que seus efeitos têm como base o continente antártico, e é a principal formadora de sistemas ciclônicos extratropicais, em médias e altas latitudes (THOMPSON; WALLACE, 2000; REBOITA et al., 2009). Por consequência, formam teleconexões com anomalias de precipitação nessas latitudes, obtendo, assim como os outros fenômenos, fases positivas (maiores taxas de precipitação) e negativas (menores taxas de precipitação) (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009).

O Pacífico/América do Sul (PAS) é uma teleconexão de baixa frequência que conecta o Pacífico tropical com a América do Sul via corrente de jato (em altitude), em relação às anomalias de pressões atmosféricas e altura geopotencial em 500hPa (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009; IRVING; SIMMONDS, 2016). Os efeitos são distintos entre regiões tropicais e subtropicais, e afetam principalmente as zonas de convecção da ZCAS (MO; HIGGINS, 1998; MO, 2000; CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009) e por consequência, mais uma vez tem efeito sobre os índices de precipitação. A diferenciação entre os níveis de geopotencial (1000 hPa – superfície; 850 hPa, 500hPa e 200hPa) leva em consideração os diferentes níveis altimétricos, e sua atuação sobre os sistemas climáticos também afetam a variável de temperatura, pelo transporte de umidade entre as regiões (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009), e consequente alteração da pressão atmosférica.

Os diferentes eventos climáticos podem afetar significativamente o clima da região sul do Brasil, a curto e médio prazo e, portanto, podem ser registrados nos anéis de crescimento das árvores, especialmente em sítios mais sensíveis à variabilidade climática. Desta maneira, esse capítulo teve por objetivo construir cronologias da largura dos anéis de crescimento em quatro áreas altomontanas da Serra do Mar paranaense, visando entender a resposta de crescimento de *Ilex microdonta*, espécie arbórea representativa desses ambientes no estado do Paraná, em relação ao clima local e possíveis teleconexões com sistemas climáticos globais. Procurou-se responder as seguintes perguntas: (1) Dentre as variáveis climáticas locais (temperaturas máximas e mínimas, e precipitação), qual é a que tem maior correlação com as cronologias? (2) É possível identificar teleconexões dos sistemas globais com as cronologias desenvolvidas?

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações relativas às áreas de estudos, a coleta e o preparo do material foram descritas no item 2 desta tese.

3.2.1 Análise de dados

Todas as séries radiais foram analisadas de forma gráfica e posteriormente de maneira estatística, dentro e entre árvores, pelo software COFECHA (HOLMES, 1983), auxiliando no controle da qualidade da análise, para verificar a sincronia das séries temporais, na identificação de erros de datação e de anéis ausentes (ou localmente ausentes) e/ou falsos (GRISSINO-MAYER, 2001). O programa gera uma série mestre, e analisa cada série individual em relação à série mestre, gerando índices de correlação por segmento analisado (HOLMES, 1983). Utilizou-se, neste estudo, uma janela de 50 anos, com sobreposição de 25 anos (Nível crítico = 0,3281; $p < 0,01$). Foram analisadas as árvores das montanhas independentemente, totalizando assim quatro séries mestre distintas.

Toda série temporal de anéis de crescimento contém sinais não-climáticos, sejam eles causados pelas interações com o sítio, como competição e distúrbios, que causam eventos de liberação ou supressão (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006) e ou por efeitos biológicos (idade e taxas crescimento). Esses sinais não climáticos, também tratados como ruídos, afetam os índices de largura dos anéis de crescimento, e geralmente são persistentes ao longo do tempo, e por isso podem ser removidos, ou ao menos minimizados, com a padronização (standardização) dos dados (FRITTS, 1976; SPEER, 2010).

A preservação de sinais climáticos potenciais, em baixas e médias frequências, é dependente do comprimento das séries utilizadas na construção das cronologias, principalmente quando cronologias longas são compostas de sucessivas séries mais curtas. Esse efeito, conhecido como a “maldição do comprimento de série” – *Segment Length Curse* (COOK et al., 1995), deve ser considerado para a escolha do método de padronização.

Dessa forma, para evitar que as tendências biológicas do crescimento tivessem influência sobre a quantidade de sinais climáticos observados, e especialmente para preservar os sinais de baixa e média frequência, foi aplicado o

método de construção de curvas regionais padronizadas (*RCS – Regional Curve Standardization*) (BRIFFA et al., 1992; MELVIN; BRIFFA, 2008), com o uso do software RCS-Signal Free. As séries foram ajustadas à um modelo residual, com a aplicação da função *Power Transformation*, que reduz a heterocedasticidade, garantindo a estabilização da variância dos dados. A cronologia foi gerada pela média robusta (Tukey's Biweight Criterion), calculando-se o seu EPS (*Expressed Population Signal*) e *RBAR* com um segmento de 20/10 anos, para ambos os parâmetros estatísticos.

O índice EPS representa a relação entre uma cronologia individual e uma cronologia hipotética replicada a um número infinito de dados, em determinado intervalo de tempo (WIGLEY et al., 1984). Em termos gerais, representa um período em que há sinal comum em todas as séries amostradas. Diversos autores citam o valor de 0.85 como limite crítico (*threshold*) de um índice EPS (WIGLEY et al., 1984; BRIFFA, 1995; LARA et al., 2005; LÓPEZ; VILLALBA, 2011; BATTIPAGLIA et al., 2015; O'DONNELL et al., 2015). Contudo, esse valor serve puramente como uma referência, podendo ser alterado em função da necessidade de precisão e de acurácia do usuário. Em regiões não temperadas (i.e.: tropicais e subtropicais), pode-se assumir um valor crítico de EPS menor que 0.85 (PIRAINO et al., 2015). Nesse estudo foi considerado o valor de $\text{EPS} \geq 0.75$.

O índice *RBAR* representa a medida de um sinal comum das séries individuais com a cronologia geral, podendo ser assumido como uma medida da variância comum, ou a correlação média entre as séries, em um dado período, independentemente do número de amostras (WIGLEY et al., 1984; COOK; KAIRIUKSTIS, 1990; O'DONNELL et al., 2015).

Ambos índices podem ser considerados como estatísticas descritivas de qualidade dos dados gerados.

3.2.2 Dados climáticos

3.2.2.1 Dados locais

Os conjuntos de dados climáticos utilizados para esse estudo foram obtidos de uma série de estações meteorológicas de órgãos oficiais do governo estadual, como o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e o Sistema Meteorológico do Paraná

(SIMEPAR), e federal, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA). Foram utilizados os dados de temperaturas máximas e mínimas e, através destes, foi calculada a temperatura média, e de precipitação total.

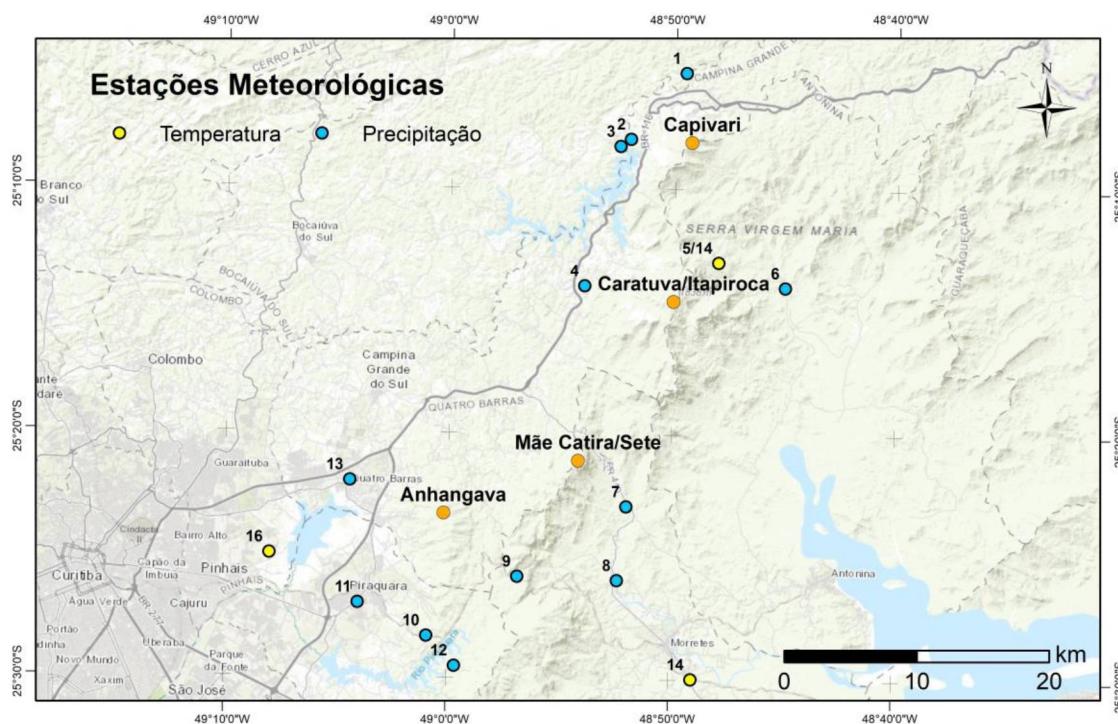
Foram compilados dados de 16 estações meteorológicas próximas às áreas de estudo (TABELA 1 e FIGURA 10), com uma distância geográfica máxima de 20km. Destas, 13 estações são referentes à medição de precipitação, com diferentes séries temporais, e 3 apenas que registram dados de temperatura. Para as estações em que havia insuficiência de algum dado na série temporal, foi calculada a média dos valores totais, e então reposto o valor faltante de acordo com o valor médio (FONTANA et al., 2018).

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DOS DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCAIS.

		Precipitação					
		1920	1940	1960	1980	2000	2018
1	Praia Grande						
2	Barragem do Capivari						
3	UHE GPS Barramento						
4	Paiol de Baixo						
5	Antonina						
6	Colônia Cachoeira						
7	São João da Graciosa						
8	Porto de Cima						
9	Véu de Noiva						
10	Roça Nova						
11	Piraquara						
12	Mananciais da Serra						
13	Quatro Barras						
		Temperatura					
14	Antonina						
15	Morretes						
16	Pinhais						

FONTE: O autor (2019).

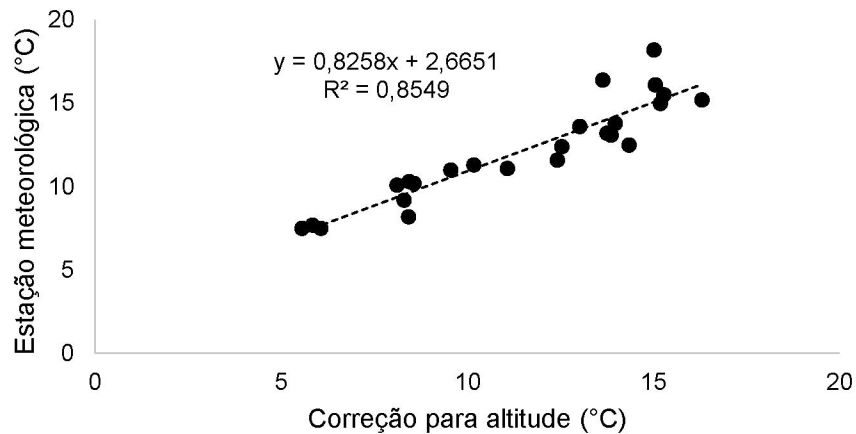
FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS.



FONTE: O autor (2019).

Considerando que as estações meteorológicas de temperatura se encontram em diferentes níveis altitudinais (Antonina = 60 m.s.n.m.; Morretes = 50 m.s.n.m. e Pinhais = 930 m.s.n.m.), e que as áreas de estudo se localizam acima destes, foi necessária a aplicação de um fator de correção para estimar os valores de temperatura na altitude das montanhas, de acordo com os valores de latitude das áreas de estudo. Assim, o valor considerado foi de $-0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ para cada 100m de elevação (RODERJAN; GRODZKI, 1999; SAVI, 2008). A fim de verificar a acurácia e validação da técnica, foi ajustado um modelo (FIGURA 11) considerando-se os dados de temperatura avaliados por 12 meses no Morro do Anhangava (RODERJAN; GRODZKI, 1999). Os valores de correção obtidos para cada registro de temperatura foram de $-2,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ no Morro Anhangava (Estação de referência – Pinhais), $-8,51\text{ }^{\circ}\text{C}$ no Pico Capivari (Estação de referência – Antonina), $-9,63\text{ }^{\circ}\text{C}$ no Pico Caratuva e Pico Itapiroca (Estação de referência – Antonina) e $-7,70\text{ }^{\circ}\text{C}$ no Morro do Sete (Estação de referência – Morretes).

FIGURA 11 - AJUSTE DE MODELO LINEAR PARA CORREÇÃO DOS DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS.



FONTE: O autor (2019).

3.2.2.2 Dados globais

Os dados referentes aos sistemas de circulação global, e que afetam as condições climáticas locais, foram obtidos junto ao *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), órgão governamental norte-americano que controla e regula as informações climáticas em nível federal e fornece informações em nível global. Foram utilizados os dados referentes à temperatura da superfície dos mares (TSM, ou SST – *Sea Surface Temperature*) para o evento climático *El Niño* Oscilação Sul (ENOS, ou ENSO – *El Niño Southern Oscillation*), Índice de Oscilação Sul (IOS, ou SOI – *Southern Oscillation Index*), Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA, ou AMO – *Atlantic Multidecadal Oscillation*), Manchas Solares (MS, ou SS – *Sun Spots*), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP, ou PDO – *Pacific Decadal Oscillation*), Modo Anular Sul (MAS, ou SAM – *Southern Annular Mode*) e a Oscilação do Atlântico Norte (OAM, ou NAO – *North Atlantic Oscillation*).

As teleconexões entre as cronologias de *I. microdonta* no sul do Brasil e os eventos climáticos foram testados por meio de análises de funções resposta, pelo pacote *bootRes* (ZANG; BIONDI, 2013), do software R.

3.2.2.3 Índice de Seca

Se considerarmos o clima regional como Cfb (ALVARES et al., 2013), tem-se que uma das principais características é a ausência de um período bem definido de seca. Entretanto, há uma visível redução dos valores de precipitação no período do inverno, nos meses de maio a setembro. Essa redução dos índices pluviométricos pode gerar uma insuficiência de entrada de água nos ecossistemas, e por fim gerar um balanço hídrico (Precipitação – Evapotranspiração Potencial) negativo, que pode ter influência sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (LARCHER, 2006).

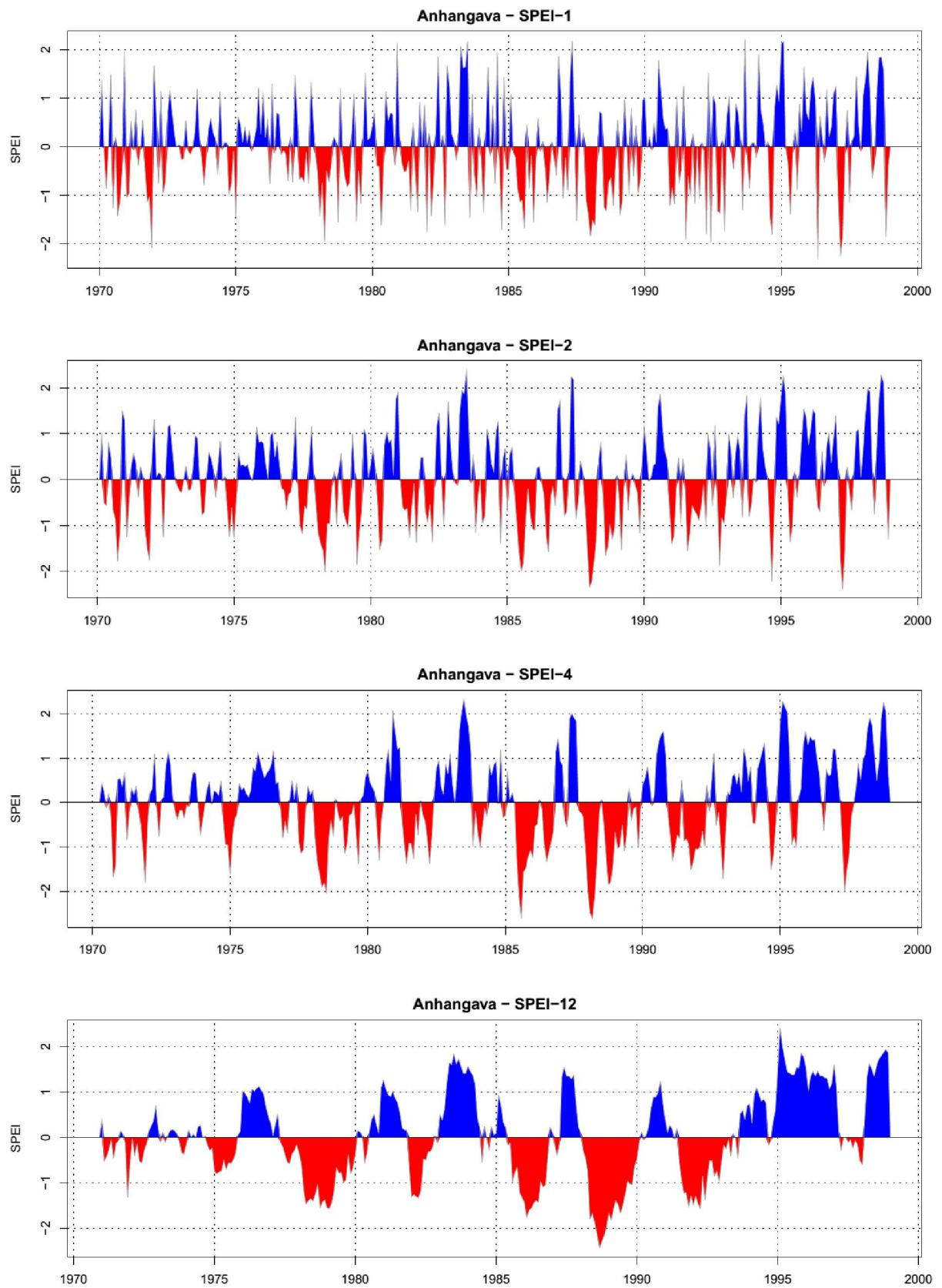
Dessa forma, foi calculado o balanço hídrico para cada montanha, de acordo com a metodologia de Thorntwaite, levando-se em consideração a temperatura, precipitação e a latitude média na qual a área está inserida. A partir do balanço hídrico, foi estimado o *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* – SPEI. Esse índice, sensível ao aquecimento global, aponta valores acima e abaixo de zero, indicando épocas mais secas ou úmidas de acordo com o balanço hídrico da área (VICENTE-SERRANO et al., 2010; FONTANA et al., 2018).

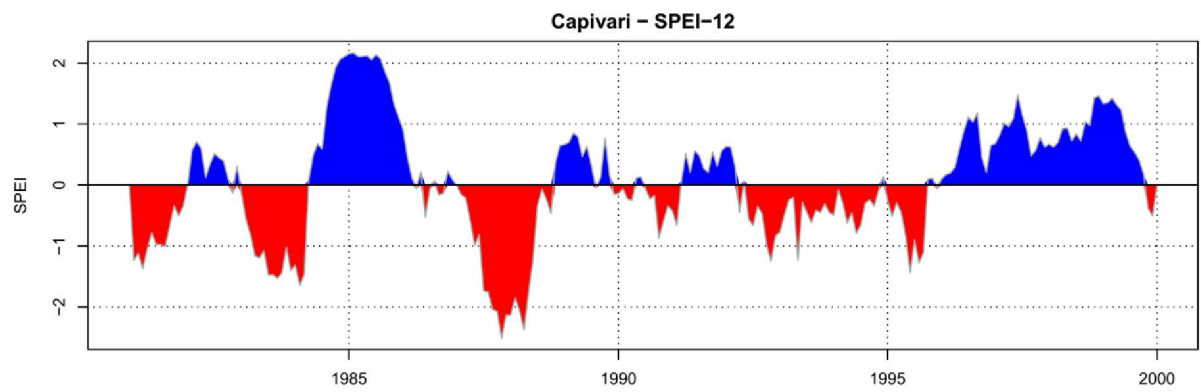
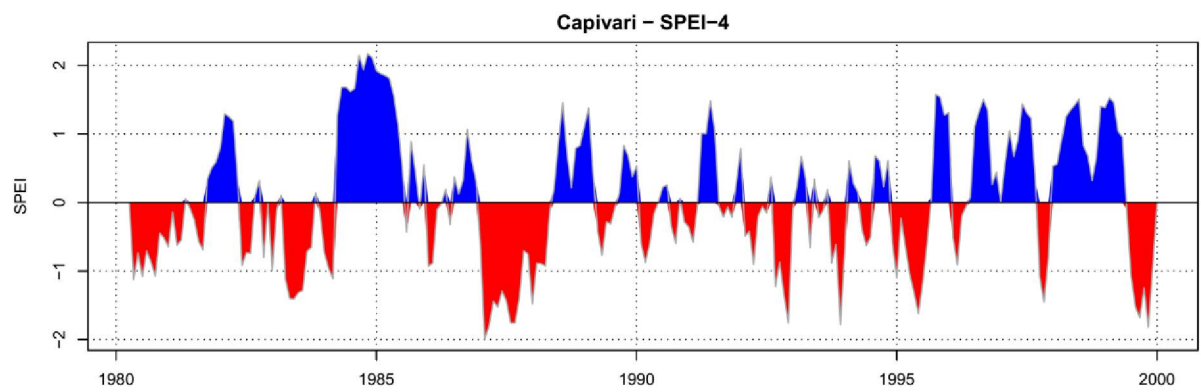
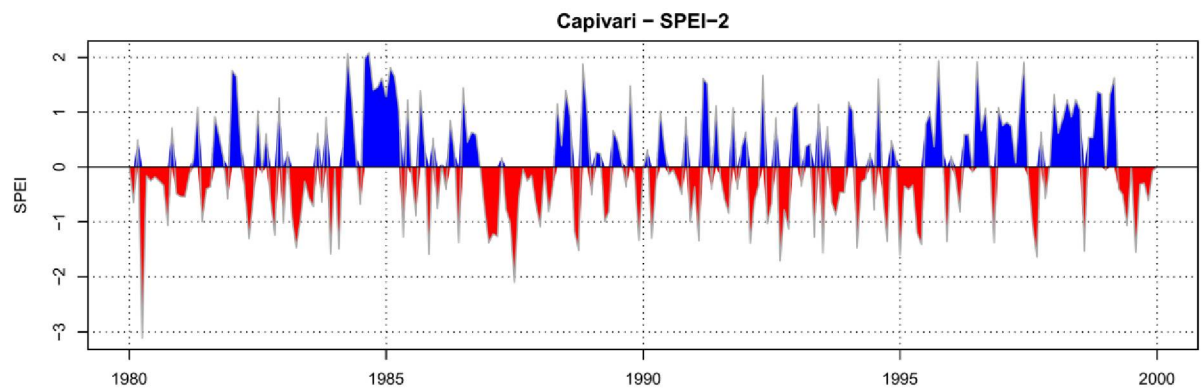
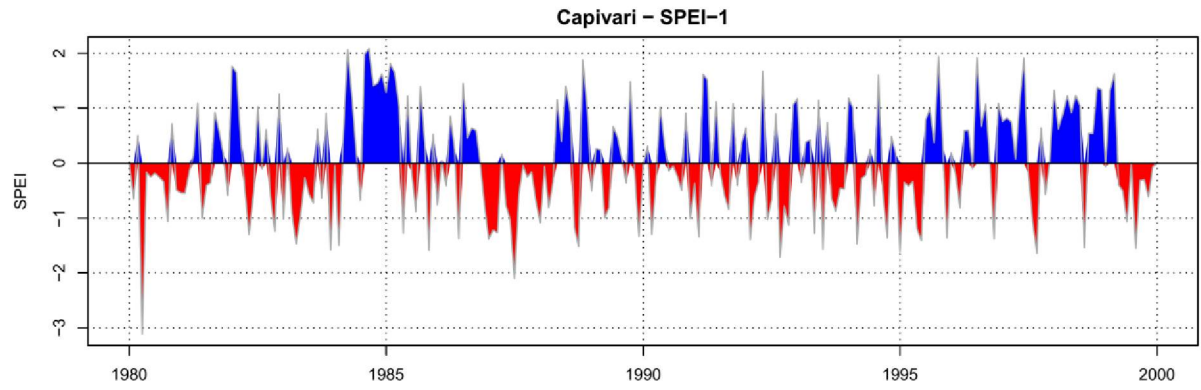
Para a análise dos dados do índice, estes foram calculados considerando uma periodicidade mensal (SPEI-1), bimensal (SPEI-2), quadrimestral (SPEI-4) e anual (SPEI-12), uma vez que os valores do índice acumulados podem responder de maneiras distintas aos índices dos anéis de crescimento. Os índices foram gerados para cada uma das montanhas avaliadas (FIGURA 12).

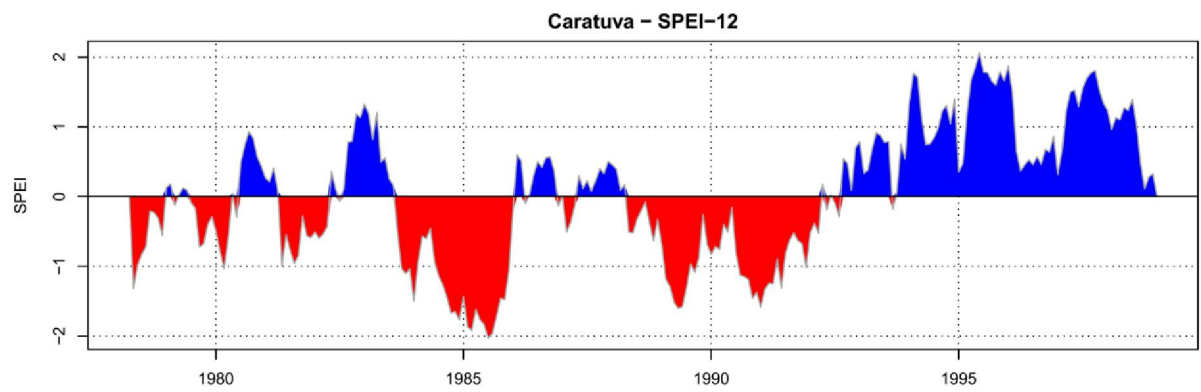
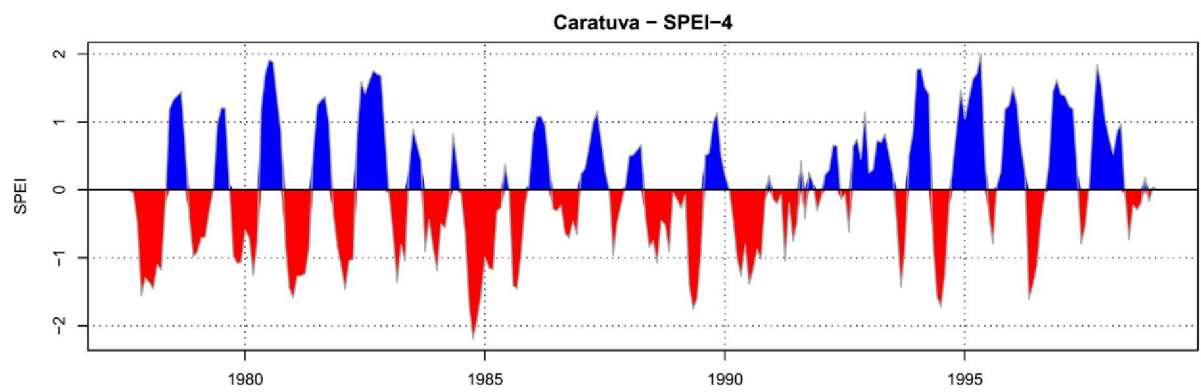
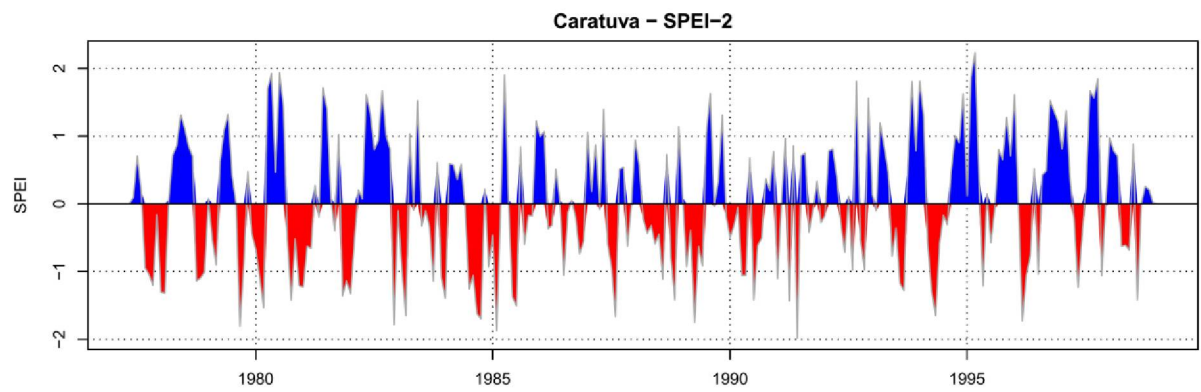
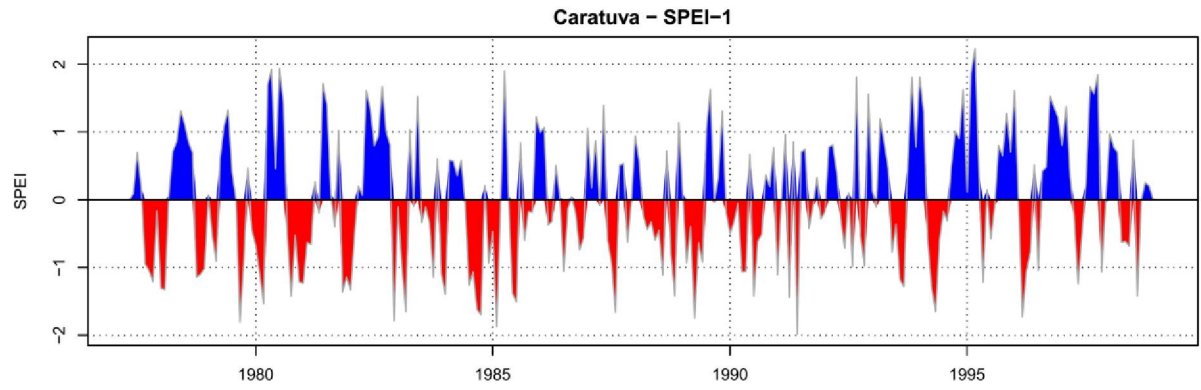
3.2.3 Análise de dados climáticos

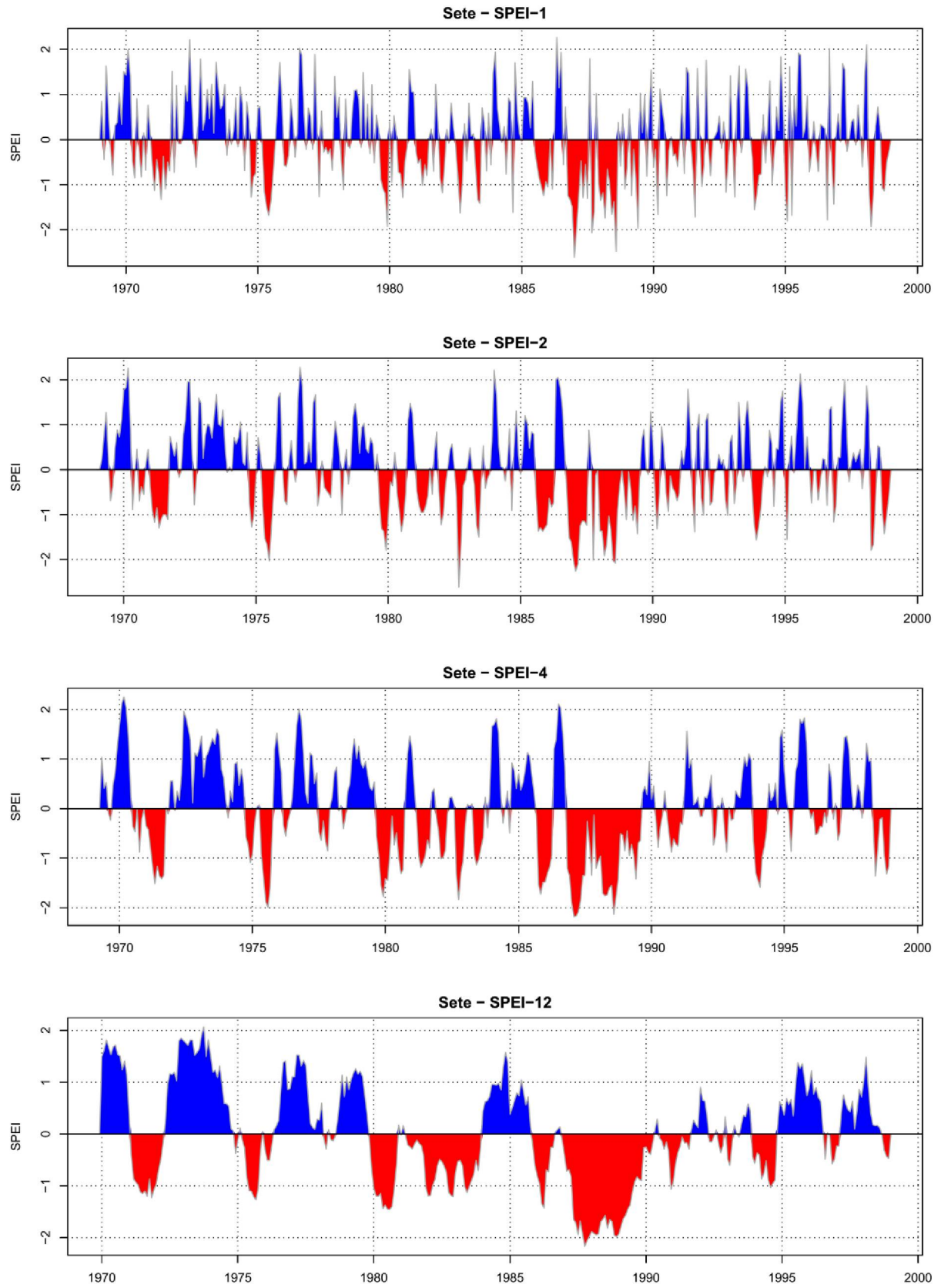
Para entender a relação das cronologias estabelecidas com os fatores climáticos, foram analisados os dados considerando o ano corrente (“t”) e o ano anterior (“t-1”), uma vez que a condição climática pretérita pode ter influência no crescimento atual das árvores. Assim, foram feitas análises de correlação para verificar a existência e a intensidade dos sinais climáticos nos anéis de crescimento, sejam eles de nível local ou global. Todas as análises foram realizadas nos softwares Microsoft Office (Excel) e no software R, este através dos pacotes *SPEI* e *bootRes* (VICENTE-SERRANO et al., 2010; ZANG; BIONDI, 2013). Ainda, para entender o comportamento espacial dessas correlações, foi utilizada uma rotina de espacialização disponível na plataforma KNMI Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>).

FIGURA 12 - ÍNDICES SPEI PARA OS DIFERENTES SÍTIOS.









FONTE: O autor (2019).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Construção das cronologias

Foram estabelecidas as cronologias para cada uma das montanhas estudadas. Para o desenvolvimento destas, de um total de 120 indivíduos (30/montanha), foram utilizadas 28, 28, 30 e 30 árvores, para os sítios Anhangava (AN) Capivari (CP), Caratuva (CR), Sete (SE), respectivamente. As estatísticas descritivas para cada um dos sítios altomontanos estudados são apresentadas na TABELA 2.

TABELA 2 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS CRONOLOGIAS DE *I. microdonta* NOS QUATRO SÍTIOS DE ESTUDOS.

Sítio	AN	CP	CR	SE
Número de árvores (total)	28 (30)	28 (30)	30 (30)	30 (30)
Número de séries datadas (total)	54 (120)	72 (120)	68 (120)	65 (120)
Número de anéis datados	4797	6002	6135	6645
Comprimento médio da série (anos)	89	84	91	102
Número de anos (Período amostrado)	176 (1841-2016)	188 (1828-2015)	177 (1840-2016)	215 (1802-2016)
Intercorrelação entre séries \pm DP	0.316 \pm 0.096	0.304 \pm 0.095	0.314 \pm 0.101	0.310 \pm 0.073
Sensibilidade média (<i>ms</i>)	0.315	0.298	0.304	0.297
<i>Expressed Population Signal</i> (EPS)	0.812	0.841	0.804	0.796
Média de <i>RBAR</i> entre séries	0.247	0.227	0.238	0.212

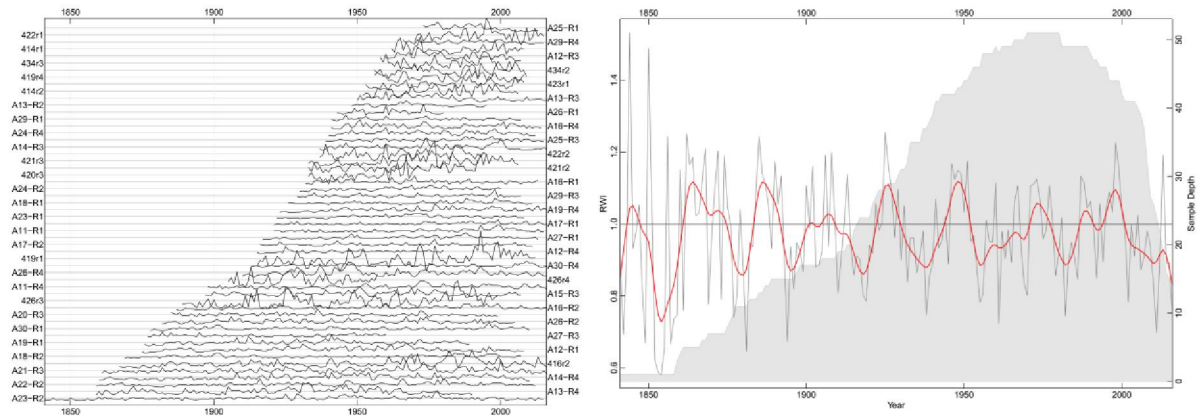
FONTE: O autor (2019).

Os valores de intercorrelação de todos os sítios não atingiram o nível crítico de significância estatística ($r=0,3281$, $p<0,01$), determinados pelo programa COFECHA, para uma janela de 50/25 anos, embora os valores estejam muito próximos deste. Nos sítios CR e SE o número de árvores amostrado foi correspondente ao utilizado para a confecção da cronologia, resultando também num maior comprimento médio das séries, quando comparado aos sítios AN e CP. Os valores de sensibilidade média encontrados acima ou bem próximos de 0,300, em todos os sítios.

Para o Morro do Anhangava, foram utilizadas 54 séries, provenientes de 28 árvores, de diferentes longitudes temporais. A cronologia final atingiu 176 anos (1841-

2016), com um comprimento médio das séries de 84 anos (FIGURA 13).

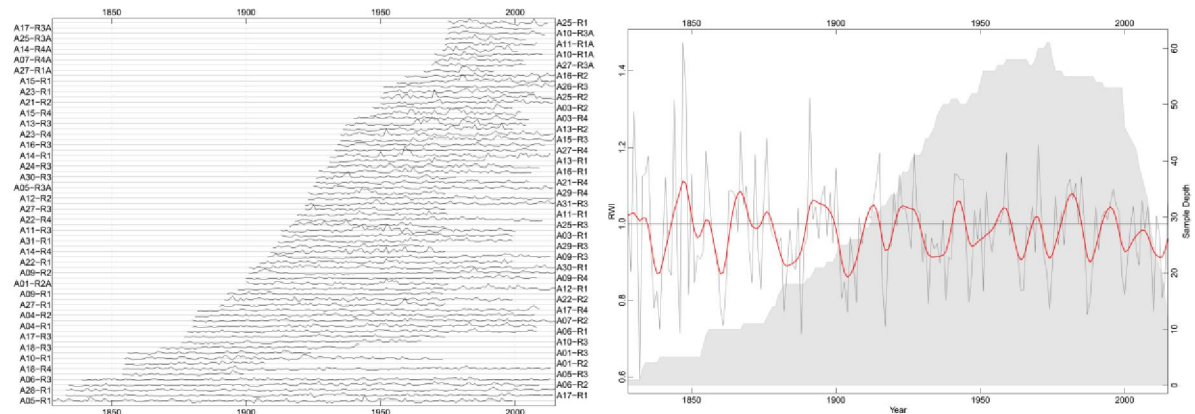
FIGURA 13 - À ESQUERDA, CURVAS DE INCREMENTO INDIVIDUAIS BRUTAS; À DIREITA, SÉRIE MÉDIA ESTABELECIDA PARA O SÍTIO ANHANGAVA. A LINHA EM VERMELHO REPRESENTA UM *SPLINE* DE 10 ANOS. EM CINZA, AO FUNDO, NÚMERO DE AMOSTRAS UTILIZADAS POR PERÍODO.



FONTE: O autor (2019).

Para o Pico Capivari, foram utilizadas 72 séries, provenientes de 28 árvores, de diferentes extensões temporais. A cronologia final atingiu 188 anos (1828-2015), com um comprimento médio das séries de 84 anos (FIGURA 14).

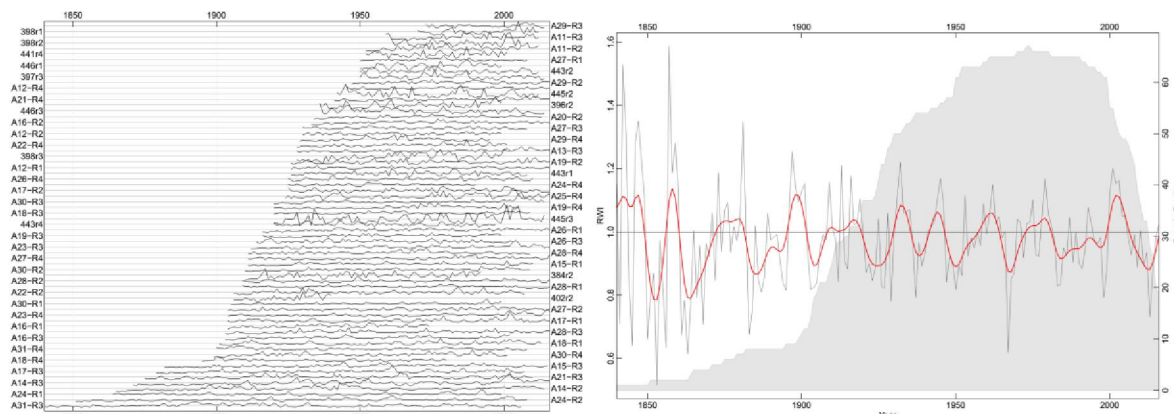
FIGURA 14 - À ESQUERDA, CURVAS DE INCREMENTO INDIVIDUAIS BRUTAS; À DIREITA, SÉRIE MÉDIA ESTABELECIDA PARA O SÍTIO CAPIVARI. A LINHA EM VERMELHO REPRESENTA UM *SPLINE* DE 10 ANOS. EM CINZA, AO FUNDO, NÚMERO DE AMOSTRAS UTILIZADAS POR PERÍODO.



FONTE: O autor (2019).

Para o Pico Caratuva, foram utilizadas 68 séries, provenientes de 30 árvores, de diferentes longitudes temporais. A cronologia final atingiu 177 anos (1840-2016), com um comprimento médio das séries de 91 anos (FIGURA 15).

FIGURA 15 - À ESQUERDA, CURVAS DE INCREMENTO INDIVIDUAIS BRUTAS; À DIREITA, SÉRIE MÉDIA ESTABELECIDA PARA O SÍTIO CARATUVA. A LINHA EM VERMELHO REPRESENTA UM *SPLINE* DE 10 ANOS. EM CINZA, AO FUNDO, NÚMERO DE AMOSTRAS UTILIZADAS POR PERÍODO.

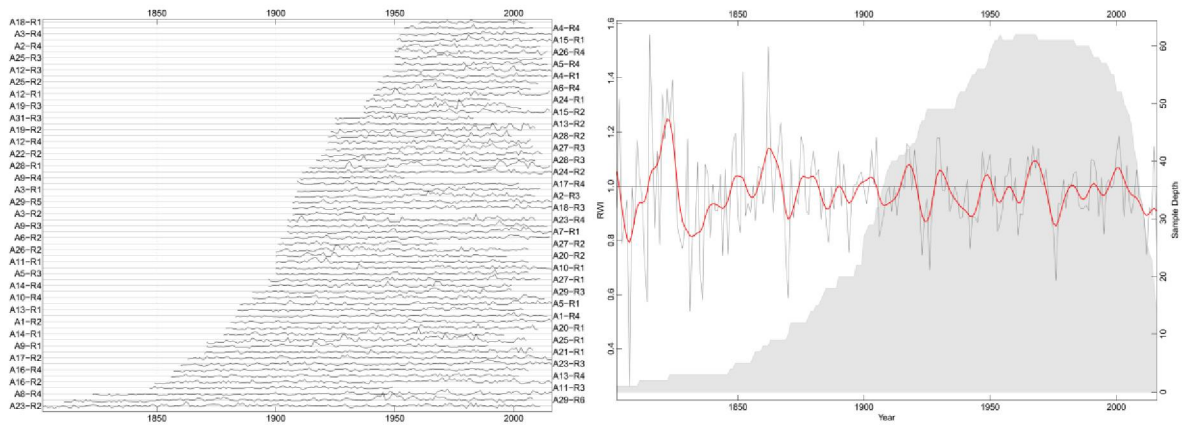


FONTE: O autor (2019).

Para o Morro do Sete, foram utilizadas 65 séries, provenientes de 30 árvores, de diferentes longitudes temporais. A cronologia final atingiu 215 anos (1802-2016), com um comprimento médio das séries de 102 anos (FIGURA 16). Dentre todos os sítios, o Sete foi o que obteve a maior extensão temporal em uma cronologia, ultrapassando os 200 anos. Todas as cronologias foram desenvolvidas para cada montanha, e imprimem uma série de dados temporal expressiva, com valores acima dos 150 anos.

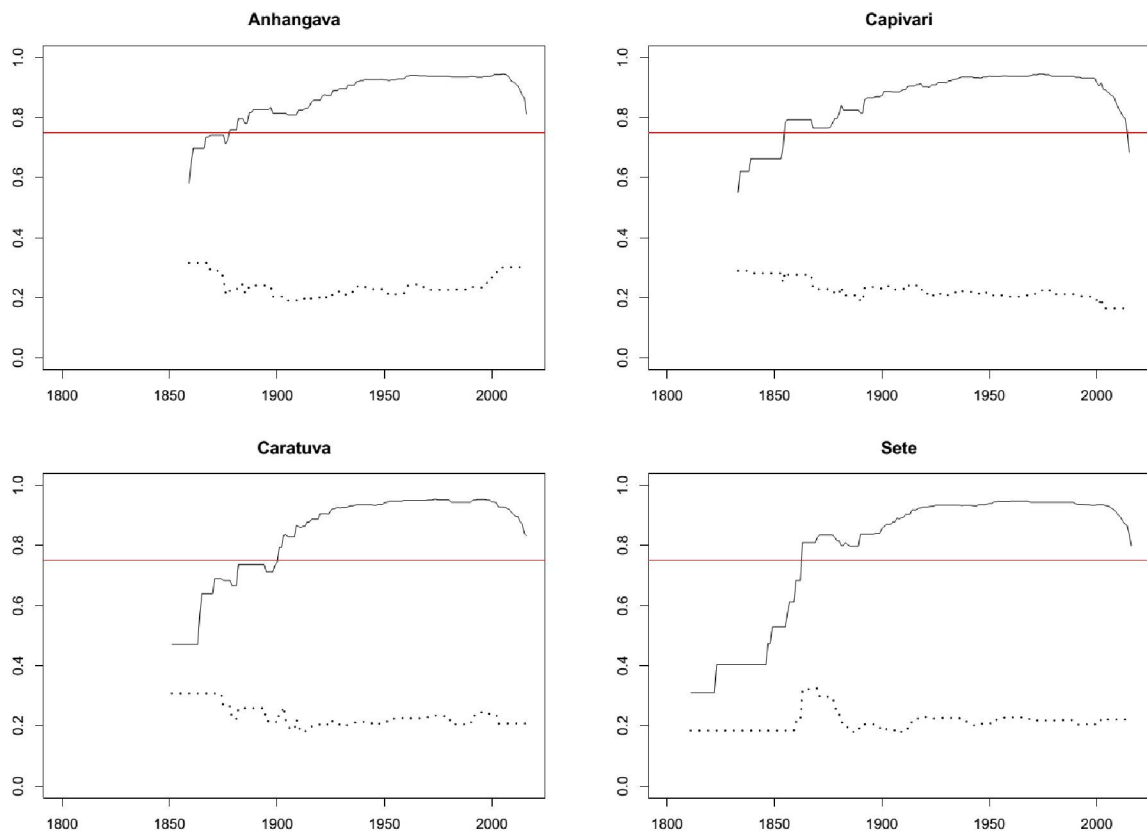
Os valores de EPS médios ficaram acima do limite mínimo estabelecido ($EPS \geq 0,75$), em todas as séries temporais desenvolvidas (TABELA 2), bem como os valores de *RBAR* alcançaram valores acima de 0,200. Nos trechos iniciais das cronologias não verificou-se valores acima do limite crítico, entretanto estes valores sobrepuseram o limite em meados do ano de 1900. Para o Morro do Sete o valor de EPS ficou acima do limite crítico a partir de 1870. As cronologias desenvolvidas apresentam uma alta variação de amplitude dos dados nos anos iniciais, em virtude da baixa quantidade de amostras utilizadas ($n < 10$), e isso refletiu no comportamento dos valores de EPS nas idades iniciais das séries (FIGURA 17).

FIGURA 16 - À ESQUERDA, CURVAS DE INCREMENTO INDIVIDUAIS BRUTAS; À DIREITA, SÉRIE MÉDIA ESTABELECIDA PARA O SÍTIO SETE. A LINHA EM VERMELHO REPRESENTA UM *SPLINE* DE 10 ANOS. EM CINZA, AO FUNDO, NÚMERO DE AMOSTRAS UTILIZADAS POR PERÍODO.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 17 - VALORES DE EPS (LINHA CONTÍNUA) E RBAR (LINHA TRACEJADA) PARA CADA UM DOS SÍTIOS AVALIADOS. A LINHA VERMELHA REPRESENTA UM *THRESHOLD* DE 75%.



FONTE: O autor (2019).

3.3.2 Relações climáticas

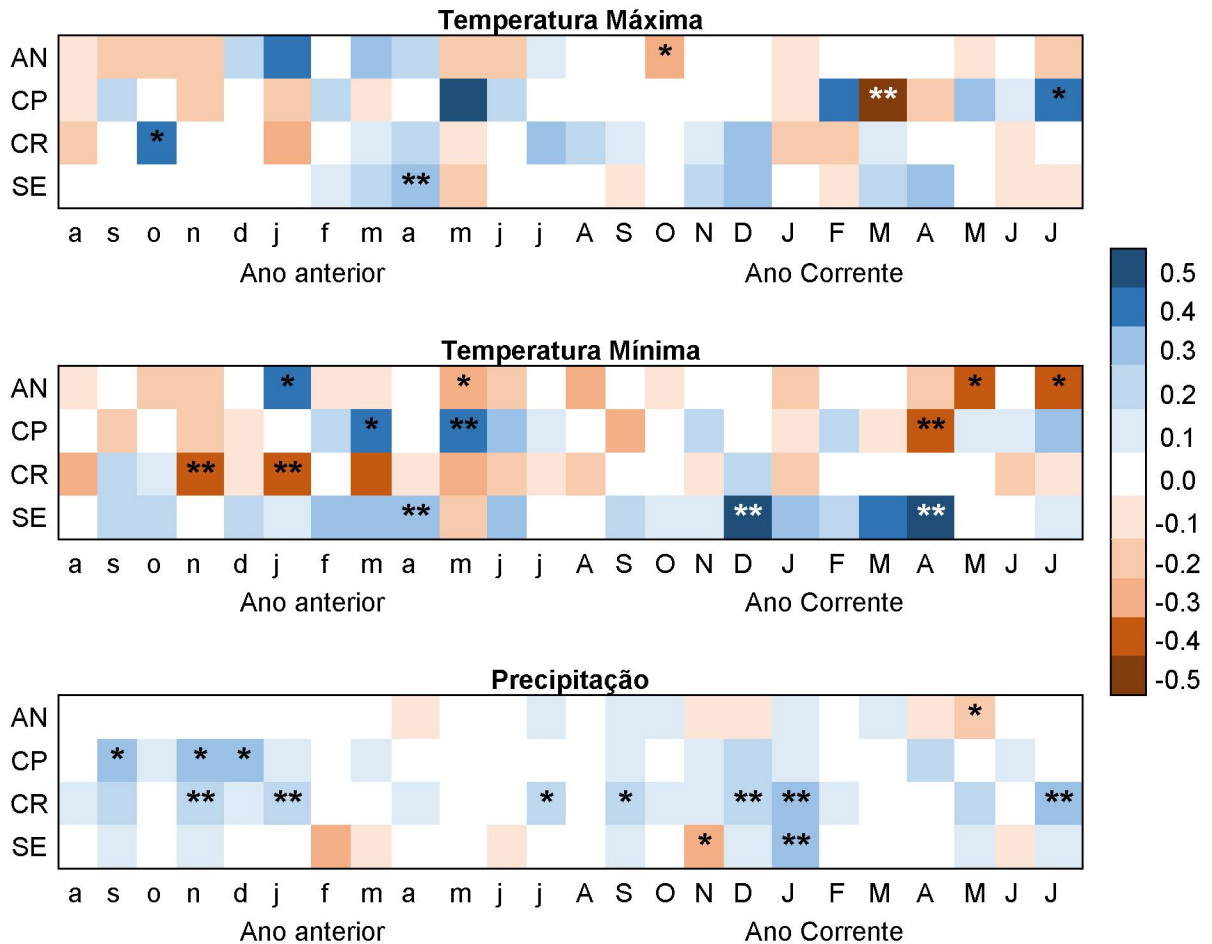
3.3.2.1 Dados locais

As relações verificadas entre o crescimento da espécie em condições altomontanas e as variáveis meteorológicas podem ser observadas na FIGURA 18. Com relação a variável temperatura, as máximas apresentaram correlação significativa com todas as cronologias, porém em momentos diferentes, tanto para o ano t-1 quanto para o ano t. As correlações mais fortes foram observadas em março do ano t ($r=-0,57$) para o sítio Capivari, e abril do ano t-1 ($r=0,37$) para o sítio Sete.

As temperaturas mínimas também apresentaram correlação com todas as cronologias, e também em distintos momentos dos anos t e t-1. As principais correlações ocorreram no período do verão – estação de crescimento – e no início do outono – final da estação de crescimento –, tanto positivas e significativas ($p<0,01$), como observado nos sítios Capivari e Sete, quanto negativas ($p<0,01$), como ocorrentes nos sítios Anhangava e Caratuva. O comportamento da variável observado foi distinto entre os anos t e t-1, assim como nas temperaturas máximas.

A precipitação, de acordo com os dados obtidos, apresentou forte correlação com as cronologias dos sítios Capivari, Caratuva e Sete; não constatando-se significativas correlações com as cronologias do sítio Anhangava. Assim como foi observado para as temperaturas mínimas, a principal época em que são detectadas variações é durante o verão, entre os meses de novembro a janeiro, principalmente para o mês de janeiro do ano t, em sua grande maioria, com correlações fortes ($p<0,01$) e positivas. Por outro lado, foram raras as observações de correlações negativas com a precipitação, exceto para o sítio Sete, em novembro do ano t ($r=-0,40$).

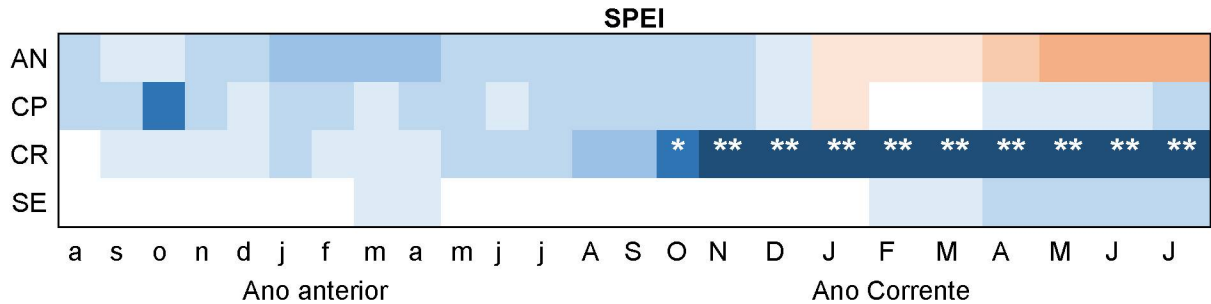
FIGURA 18 - CORRELAÇÕES ENTRE O CRESCIMENTO E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, PARA O ANO T E ANO T-1. NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA: *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$.



FONTE: O autor (2019).

Buscando entender de que modo essas variáveis respondem de maneira conjunta nos índices de crescimento da espécie, o índice SPEI calculado também apresentou correlação nos diferentes sítios (FIGURA 19). Dentre os valores obtidos para o índice, verificou-se que apenas o índice anual (SPEI-12) apresentou resultados significativos e, dentre os sítios avaliados, apenas o sítio Caratua obteve correlação positiva e significativa ($p < 0,01$) no ano t. Correlações negativas foram observadas no sítio Anhangava, também para o ano t.

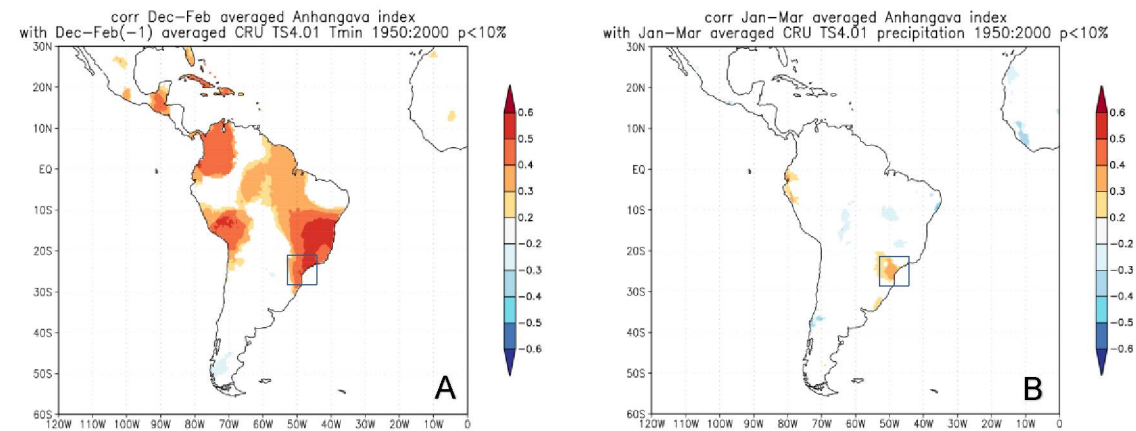
FIGURA 19 - CORRELAÇÃO DOS ÍNDICES DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO COM O ÍNDICE DE SECA SPEI-12.

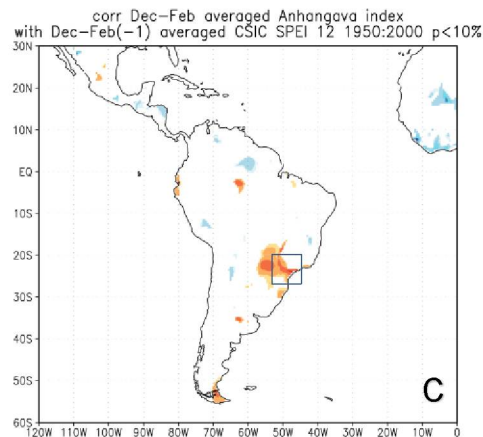


FONTE: O autor (2019).

Ao analisar espacialmente de que modo as cronologias sofreram influência das variáveis meteorológicas locais, foi observado que as temperaturas mínimas no sítio Anhangava (FIGURA 20), quando agrupadas a cada três meses, apresentaram maiores correlações nos meses do verão, para o ano t-1, enquanto a precipitação se apresentou como um fator positivo, também nos meses de verão, porém no ano t. O sítio respondeu positivamente aos índices SPEI, no ano t-1, também com maior correlação nos meses de verão.

FIGURA 20 - CORRELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO ANHANGAVA, E AS VARIÁVEIS DE TEMPERATURA MÍNIMA (A), PRECIPITAÇÃO (B) E ÍNDICE DE SECA (C). O QUADRADO INDICA A REGIÃO DE ESTUDO.

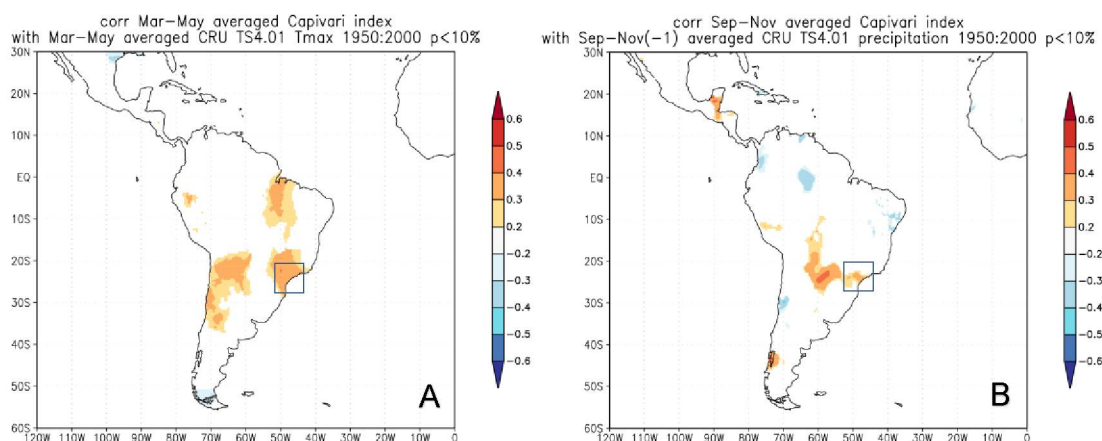




FONTE: O autor (2019).

O sítio Capivari apresentou correlações com a temperatura máxima e a precipitação (FIGURA 21), não sendo estatisticamente significativas, portanto, as relações com a temperatura mínima e com o índice de seca.

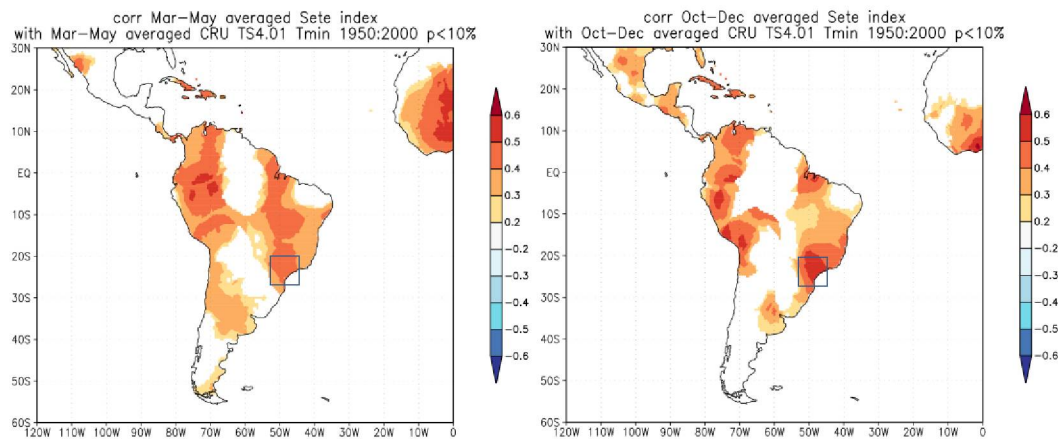
FIGURA 21 - CORRELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO CAPIVARI, E AS VARIÁVEIS DE TEMPERATURA MÁXIMA (A) E PRECIPITAÇÃO (B). O QUADRADO INDICA A REGIÃO DE ESTUDO.



FONTE: O autor (2019).

O sítio Caratuva não apresentou correlações espaciais significativas com os dados provenientes do KNMI Climate Explorer. Entretanto, o sítio Sete apresentou com a variável de temperatura mínima, em dois períodos distintos, entre março e maio e outubro e dezembro do ano t (FIGURA 22).

FIGURA 22 - CORRELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO SETE, E A VARIÁVEL DE TEMPERATURA MÍNIMA. O QUADRADO INDICA A REGIÃO DE ESTUDO.

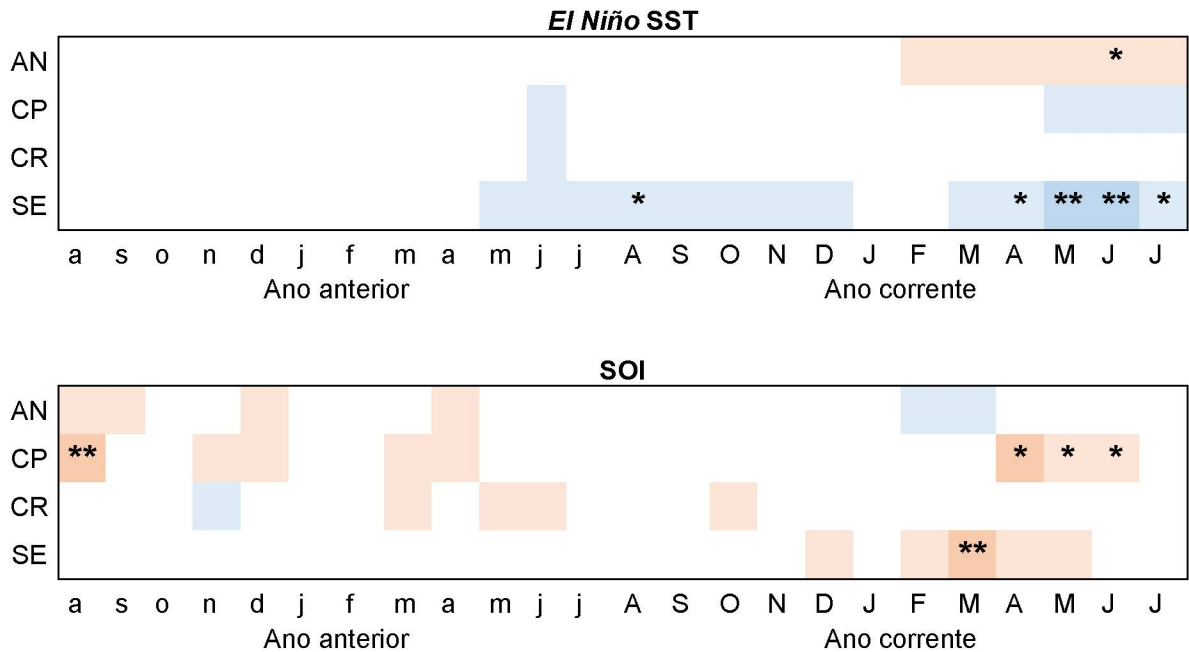


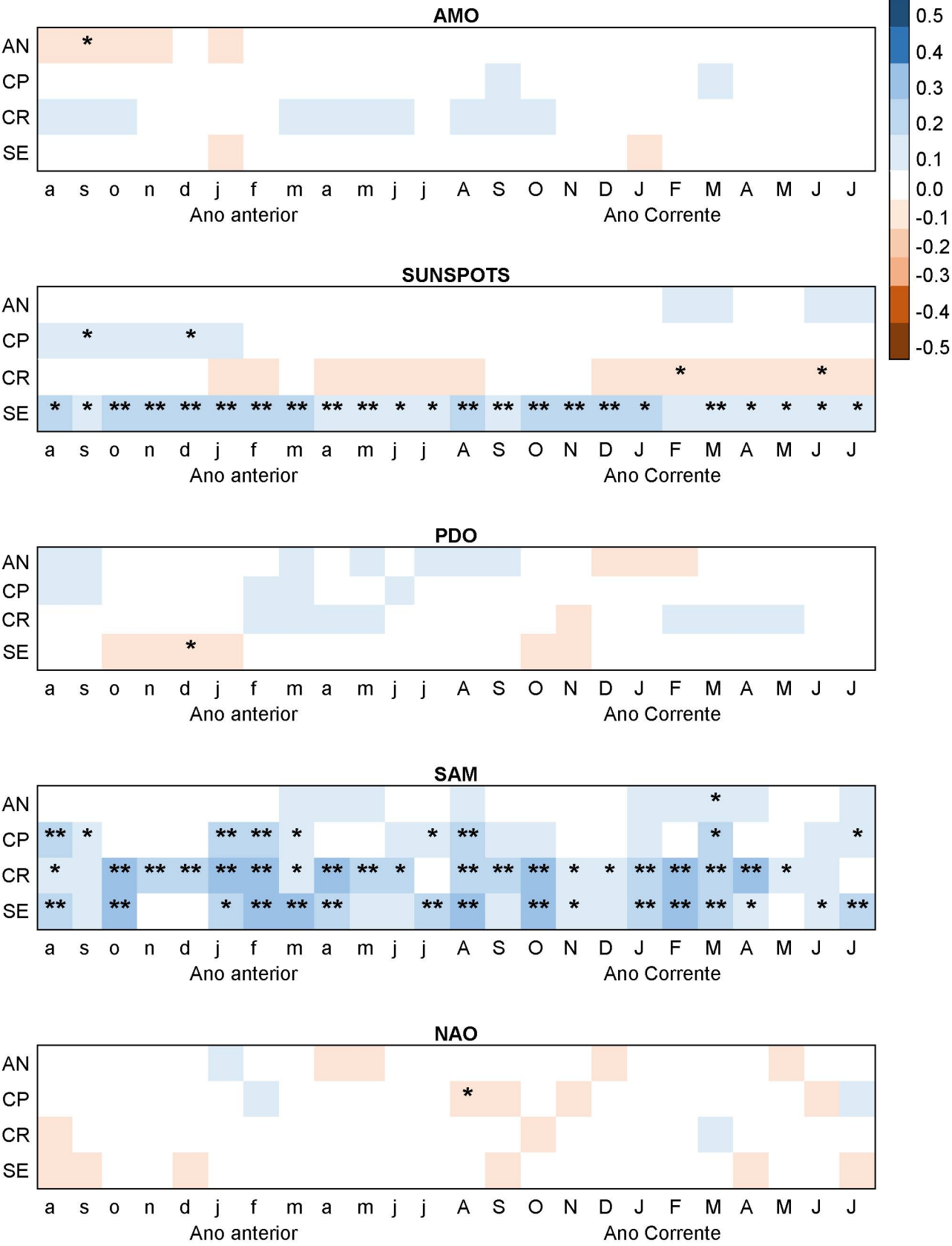
FONTE: O autor (2019).

3.3.2.2 Dados globais e teleconexões

A partir da modelagem dos dados de eventos climáticos globais, foram geradas as correlações entre os índices dos anéis de crescimento de *I. microdonta* e as variáveis. Dentre os oito eventos avaliados, o que obteve o melhor resultado foi o SAM - *Southern Annular Mode*, ou Modo Anular Sul (FIGURA 23).

FIGURA 23 - CORRELAÇÕES ENTRE OS ÍNDICES DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *I. microdonta* E OS EVENTOS CLIMÁTICOS GLOBAIS.





FONTE: O autor (2019).

Não foram verificadas influências do *El Niño* SST nos índices dos anéis de crescimento da espécie entre os sítios, obtendo correlações positivas e significativas ($p < 0,01$) apenas para o outono do sítio Sete. Entretanto, o comportamento observado para o SOI é inverso, comparado ao *El Niño* SST, com correlações negativas na maioria das épocas do ano, e também estatisticamente significativo no sítio Sete, no fim da estação de crescimento.

Tanto a AMO quando a NAO, oscilações do Atlântico Norte, tiveram pouca influência e relação com os índices de anéis de crescimento no desenvolvimento das cronologias, obtendo valores significativos apenas no inverno, tanto do ano t-1 quanto no ano t. O mesmo comportamento foi observado para o PDO, com uma alternância de valores positivos e negativos ao longo das estações do ano, obtendo valores negativos e significativos ($p < 0,05$) no mês de dezembro do ano t-1, para o sítio Sete.

Os resultados observados para *Sunspots* indicam que a cronologia desenvolvida para o sítio Sete obteve positiva e significativa correlação com a variável, principalmente durante a estação de crescimento (primavera até final do verão). A variável não foi tão fortemente correlacionada nos sítios Anhangava e Capivari, e para o sítio Caratuva, os valores observados foram negativos, distintamente dos outros sítios.

O evento SAM foi, dentre todos, o que mais obteve correlações positivas e estatisticamente significativas ($p < 0,01$), em todos os sítios com exceção do sítio Anhangava. Os maiores valores de correlação ($r > 0,35$) foram observados entre os meses de J-F-M-A, tanto no ano t-1 quando no ano t, especialmente nos sítios Caratuva e Sete.

Nos anexos 1 a 4 é possível observar o comportamento da temperatura dos oceanos ao longo dos meses do ano, e como cada cronologia responde de formas distintas a essa variável. Assim como nas figuras anteriores, as regiões que são mais afetadas pelo SAM apresentam correlações mais fortes, ao passo que as regiões tropicais do Pacífico e o Atlântico Norte indicam baixas ou poucas correlações. Para os sítios Caratuva e Sete é possível verificar alguma correlação das temperaturas do Atlântico Sul, em especial às médias latitudes, com as cronologias desenvolvidas.

3.4 DISCUSSÃO

3.4.1 Dendrocronologia

As cronologias foram desenvolvidas pela sincronização das séries temporais da largura dos anéis de crescimento em cada uma das montanhas avaliadas. Em todas elas, os valores de correlação significativos ($r=0,3281$; $p<0,01$) não foram atingidos, entretanto, isso foi observado em algumas espécies tropicais e subtropicais no Brasil (DÜNISCH et al., 2003; RAUBER, 2010; LOBÃO, 2011; ANDREACCI, 2012).

Influências não climáticas também podem explicar os baixos valores de correlação, como fatores biológicos (idade da árvore, taxas de crescimento e até mesmo o seu porte), posição de tomada das amostras e principalmente condições de sítio (FRITTS, 1976; CARRER; URBINATI, 2004; PEDERSON et al., 2013; FANG et al., 2014; FANG et al., 2015a). O solo, em especial a sua tipologia e profundidade, pode ter papel fundamental na sensibilidade e consequente sincronia das cronologias, uma vez que a eficiência no uso da água das árvores é intimamente ligada à disponibilidade hídrica dos ambientes (CARRER; URBINATI, 2004; FANG et al., 2015b), e pequenas variações nessas microcondições pedológicas podem acarretar diferentes condições de crescimento, em especial na formação dos anéis de crescimento.

Além dos solos, mesmo que as florestas altomontanas apresentem como característica morfoestrutural um dossel contínuo, com altura quase que regular (RODERJAN, 1994; RODERJAN et al., 2002), a exposição das vertentes associada às condições microtopográficas, como as formas de rampa, também podem justificar algumas dificuldades de sincronização das séries temporais das árvores. Rampas convergentes e divergentes atuam de maneira distinta da distribuição espacial dos solos, tanto em estrutura quanto fertilidade (VIEIRA, 2016), e as árvores inseridas nesses contextos respondem à essas características de diferentes maneiras.

A presença frequente de medula excêntrica traz dificuldades na visualização dos limites dos anéis de crescimento e, consequentemente, na correta medição de sua largura, nas séries em os anéis são comprimidos pelo deslocamento da medula. Esse crescimento excêntrico da medula ocorre, muito provavelmente, do deslocamento do eixo das árvores, decorrente da compensação mecânica dos indivíduos com a formação de lenho de reação, quando sujeitos a superfícies

irregulares, geralmente sobre encostas montanhosas a fortemente escarpadas, e associadas aos ventos fortes e constantes (FALLAH et al., 2012; AZIM; OKADA, 2014). Uma possível explicação pode ser, também, associada à saturação de luz as quais as árvores estão sujeitas, principalmente quando a pressão de competição altera sua direção de crescimento, o que pode levar a diferenças no suprimento de carboidratos, água e elementos minerais, além de fito hormônios (DÜNISCH et al., 1999).

A dificuldade de analisar a sincronia encontrada entre os índices de anéis de crescimento de *Ilex microdonta* ainda pode ser justificada pela própria anatomia da madeira da espécie. A demarcação dos limites dos anéis de crescimento é pouco distinta, sendo observada pelo maior espessamento e achatamento radial das paredes das fibras no lenho tardio, muitas vezes associada a dilatação tangencial dos raios (MIRANDA, 2015). A espécie apresenta porosidade difusa, sem presença de parênquima marginal. Além disso, o método de amostragem não destrutivo, diferentemente do destrutivo, em que se obtêm seções transversais completas do tronco, reduz consideravelmente a área disponível para análise dos anéis de crescimento (STAHLE et al., 1999), podendo, em muitos casos, dificultar essa análise.

Embora apenas valores de $EPS \geq 0,85$ são dados como significativos (WIGLEY et al., 1984), há controvérsias a respeito do valor definido para este índice, uma vez que o mesmo foi desenvolvido para análises em regiões temperadas. Um ajuste possível de ser realizado em regiões tropicais e subtropicais é considerar um valor de $EPS \geq 0,75$ (PIRAINO et al., 2015). Os valores médios de EPS obtidos para cada uma das montanhas ficaram acima de 0,75 na maior parte das séries temporais, em especial a partir do ano de 1900, alcançando valores até acima de 0,90, também considerando os valores de $RBAR \geq 0,25$, corroborando outros estudos que analisaram os mesmos parâmetros em áreas tropicais e subtropicais (VILLALBA et al., 1998; CATTANEO et al., 2013; FERRERO et al., 2013; PUCHA-COFREP et al., 2015; LOCOSSELLI et al., 2016; VENEGAS-GONZÁLEZ et al., 2016)

A sensibilidade média, variável frequentemente utilizada para verificar a sensibilidade das cronologias às variações intra-anuais e climáticas (LONGHI-SANTOS, 2017) foi considerada alta (GRISSINO-MAYER, 2001), com um valor médio entre dos sítios de 0,303. Esse valor pode indicar que parte da variabilidade dos dados está relacionada à fatores climáticos, sejam eles de nível local, ou de maior expressão, como os sistemas globais. Ainda, que para espécies distintas, os valores encontrados

para *ms* são similares a outros encontrados para a região sul do Brasil (OLIVEIRA et al., 2010), e em ambientes de elevadas altitudes no sul da América do Sul (MORALES et al., 2004).

3.4.2 Relações climáticas

Dentre as variáveis de nível local (temperaturas máxima, mínima e precipitação), as maiores correlações encontradas foram com a temperatura mínima, potencializada pelo efeito da altitude, corroborando outros estudos já desenvolvidos para o estado do Paraná e em outras regiões do sul do Brasil (BONINSEGNA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2010; ANDREACCI, 2012; LONGHI-SANTOS, 2013, 2017; LONGHI-SANTOS et al., 2015; KANIESKI et al., 2017). Os efeitos da temperatura na estação de crescimento (no hemisfério Sul, entre novembro e maio), em especial as temperaturas mínimas, são mais evidentes nas altitudes da Serra do Mar devido à provável maior cobertura de nuvens nessa época, em que as taxas de precipitação são mais elevadas (BIGARELLA, 1978; RODERJAN; GRODZKI, 1999). Uma menor incidência de radiação solar sobre a floresta, associada ao efeito que os ventos proporcionam na sensação térmica, reduz as temperaturas incidentes, diminui a evapotranspiração das florestas e provoca efeitos na atividade cambial das árvores, que respondem a esses estímulos. Por ser uma espécie adaptada e restrita aos ambientes de maior altitude (EDWIN; REITZ, 1967; GROPPPO, 2015) e, portanto, a menores temperaturas, a manutenção de temperaturas mais baixas favoreceria o seu crescimento, nas estações de crescimento, tanto do ano t quanto do ano $t-1$. Muito embora a correlação não seja tão evidente, esses períodos detêm maiores taxas pluviométricas, tanto de entrada vertical quanto horizontal (HAMILTON et al., 1995; ELLER et al., 2013). Isto de certa forma impede que haja déficit hídrico e um aumento da evapotranspiração das florestas nos ambientes altomontanos (BRUIJNZEEL, 2001), favorecendo assim o crescimento da espécie e sua eficiência no uso da água para os processos internos das plantas (BRIENEN et al., 2017).

Foi observado ainda que esses períodos (verão) correspondem, também, às épocas reprodutivas da espécie (EDWIN; REITZ, 1967; BROTTTO et al., 2007), tanto de floração quanto frutificação. A relação entre a expressão das fenofases reprodutivas com o crescimento em diâmetro das árvores não é regulada por um único fator, mas sim por interações e por questões genéticas, principalmente (BORCHERT,

1999; MILANI, 2017). A sincronização desses eventos se dá em épocas favoráveis às atividades fisiológicas das plantas (HELM et al., 2013), reguladas pela temperatura (TOWNSEND et al., 2010), mas também por condições pedológicas, principalmente em regiões onde a sazonalidade climática é pouco pronunciada (CARDOSO et al., 2012), como é o caso da Serra do Mar no Paraná.

Entretanto, nos períodos desfavoráveis ao crescimento, entre os meses de junho a outubro, a situação é distinta. Geralmente são as épocas em que as taxas de precipitação são menores, há uma menor cobertura de nuvens na atmosfera, e as temperaturas caem substancialmente nas maiores altitudes da Serra do Mar. A entrada de frentes frias é mais recorrente, e perduram por mais tempo na região Sul do Brasil (CAVALCANTI et al., 2009).

As correlações encontradas com o índice de seca indicam que apenas no sítio Caratua foram obtidas correlações positivas e estatisticamente significativas, para todo o ano t. Coincidentemente, este é o sítio em que as amostras foram tomadas em maiores altitudes, acima de 1.800 m s.n.m. A seca é um fenômeno multiescalar (VICENTE-SERRANO et al., 2010), e embora haja uma relação entre o índice de seca e a altitude (MBIRIRI et al., 2018), pode-se inferir que em áreas mais expostas às intempéries do tempo, a dinâmica hídrica é mais acelerada, tanto pela entrada quanto pela saída no sistema, gerando assim consequentes momentos de déficit e recarga hídrica ao longo do tempo. De qualquer maneira, os dados indicam que a cronologia desenvolvida para o sítio Caratua não experimentou períodos de secas expressivas a ponto de influenciar o crescimento da espécie, confirmando que períodos mais úmidos favoreceram o seu desenvolvimento nesse ambiente, assim como observado em estudos similares com o mesmo índice (FONTANA et al., 2018; MBIRIRI et al., 2018).

Dentre todas as variáveis globais analisadas, as teleconexões entre o clima e as cronologias de *I. microdonta* foram menos sensíveis aos seus efeitos, em especial ao *El Niño*, SOI, AMO, PDO e NAO. No hemisfério Sul, foram identificadas teleconexões da AMO com concentrações de oxigênio isotópico em sedimentos minerais de cavernas, num *proxy* extenso, de cerca de 4500 anos, que corroboram com os períodos de atuação do evento climático em baixa frequência, sobre a superfície do oceano Atlântico norte, aproximadamente a cada 64 anos (CHIESSI et al., 2009). Entretanto, não foram identificadas possíveis teleconexões com anéis de

crescimento na América do Sul e nem, em especial, com as cronologias desenvolvidas nesta pesquisa.

Embora estudos com anéis de crescimento e suas teleconexões com a NAO apresentem correlações, principalmente no hemisfério Norte (COOK et al., 1998; PIOVESAN; SCHIRONE, 2000; GLUECK; STOCKTON, 2001), estas foram negativas e pouco relacionadas aos índices desenvolvidos, indicando uma fraca associação entre esse evento e as cronologias. Há registros de padrões de teleconexão entre o NAO e o hemisfério Sul em relação à temperatura da atmosfera, principalmente sobre a Amazônia, porém com a utilização de uma base de dados climatológica (BOWERMAN et al., 2017), sem o uso de anéis de crescimento de árvores, assim pouco inferindo a influência desse evento sobre a vegetação.

As relações com o *El Niño* foram observadas apenas no ano t , e nos meses de abril a junho, fim da estação de crescimento, e com significância estatística e positiva apenas no sítio Sete. Como os valores não foram observados também nos outros sítios, pode-se inferir que esse evento tem menor influência sobre o crescimento de *I. microdonta* na Serra do Mar, resultado esse bastante contrastante com outros estudos para o sul do Brasil (LORENSI, 2012; GRANATO-SOUZA et al., 2018). As autoras, ao trabalhar com séries temporais de *Araucaria angustifolia*, espécie utilizada para detecção do evento, indicaram que a espécie se mostrou muito mais sensível à ocorrência do *El Niño*, justificado pela relação com a precipitação. Ainda que essa variável climática seja a principal indicadora dos eventos de *El Niño* para o sul do Brasil (GRIMM; TEDESCHI, 2009), as correlações encontradas com a variável não foram suficientes para relacionar o crescimento das árvores com esse evento global.

Um dos fatores que possivelmente influenciou os resultados é a amplitude temporal de análise, uma vez que o *El Niño* é um evento recorrente aproximadamente a cada 4 ou 5 anos (RIGOZO et al., 2004), e as cronologias, quando analisadas em períodos de média frequência, assim como o evento, não apresentaram correlações significativas, embora em sua grande maioria foram positivas. Os eventos do *El Niño* e do SOI foram antagônicos, uma vez que o *El Niño* apresentou correlações positivas, e o SOI correlações negativas, com significância estatística no mesmo período (final da estação de crescimento – março a julho – do ano t). Esse resultado corrobora o que é esperado para ambos os eventos (RIGOZO et al., 2004; METEOROLOGY,

2018), e embora tenham obtido menor efeito, os eventos foram detectados nas cronologias.

Considerado um evento de baixa frequência, e até mesmo indicado como um *El Niño* de maior duração, com períodos entre 20 a 30 anos (MANTUA; HARE, 2002; KAYANO; ANDREOLI, 2007), o PDO pode ser considerado um modulador dos eventos *El Niño* e, portanto, pode agir na atuação das anomalias de precipitação, a longo prazo, no sul do Brasil (ANDREOLI; KAYANO, 2005). Embora atue sobre a precipitação, as correlações observadas entre os índices do PDO e as cronologias foram baixas e não significativas, e seu efeito não obteve destaque na detecção de possíveis teleconexões. Embora o efeito dos dois eventos combinados em tese os potencializa (KAYANO; ANDREOLI, 2007), há também um efeito nas diferenças entre períodos mais secos e mais úmidos, que influenciam também sobre índices de seca, como o SPEI. Não houve uma relação direta e associativa entre os dois índices nas cronologias, muito possivelmente pelas baixas correlações apresentadas para o PDO; entretanto, essa relação é recorrente em outras regiões do planeta (WANG et al., 2014), podendo ser melhor e mais enfaticamente abordada em estudos posteriores.

Dentre os eventos que apresentaram maiores correlações com as cronologias, apresenta-se o SAM com maior destaque, seguido dos *sunspots*. Em relação aos *sunspots*, o único sítio que apresentou correlações positivas e fortemente significativas ($p < 0,01$) foi o sítio Sete. Os *sunspots* são estruturas magnéticas que se apresentam escuras na superfície do sol, e são associadas com a atividade solar, formando ciclos de aproximadamente 11 anos, com emissões de raios ultravioleta e raios-x, entre outros, e afetam diretamente a vida na Terra (SOLANKI, 2003; HATHAWAY, 2010).

Os efeitos térmicos sobre a Terra, com aquecimentos e resfriamentos, estão diretamente relacionados com a atividade solar, porém efeitos magnéticos também são observados, embora os processos que geram a atividade magnética ainda são incertos (HATHAWAY, 2010). De qualquer maneira, como os efeitos dos *sunspots* se dão em nível global, é certamente intrigante que apenas um dos sítios tenha apresentado correlações fortes e significativas, enquanto outros dois apenas de maneira pontual, em alguns meses, tanto do ano t quanto ano $t-1$. Uma possível explicação para os resultados pode se basear na posição geográfica das montanhas avaliadas.

Os sítios Sete e Capivari (que apresentaram correlações positivas) apresentam um cume arredondado, sem a ocorrência de vertentes escarpadas nas proximidades das áreas onde as amostras foram tomadas. Mesmo que haja um recobrimento por nuvens e uma menor incidência de radiação solar em determinados períodos do ano, em tese os ambientes recebem luz solar em sua totalidade, estando sujeitos à atividade solar em sua máxima expressão. Nos sítios Caratua e Anhangava, a exposição das vertentes pode ter influência sobre a expressão da atividade solar nos sítios, o que seria uma possível explicação para as correlações baixas e negativas. Entretanto, é apenas uma hipótese, que carece de mais estudos para ser validada.

Diferentemente dos *sunspots*, o SAM foi a variável que mais obteve correlações positivas e significativas em todos os sítios. O Modo Anular Sul é o principal padrão de variabilidade climática anual no hemisfério Sul (GUPTA; ENGLAND, 2006), apresentando também padrões de variabilidade interanuais (aproximadamente a cada 5 anos). Seus efeitos se dão nas médias e altas latitudes, por perturbações da altura geopotencial, temperatura, pressão atmosférica na superfície do mar e ventos zonais, sendo a principal formadora de sistemas ciclônicos extratropicais, formando teleconexões com as anomalias de precipitação (THOMPSON; WALLACE, 2000; MARSHALL, 2003; REBOITA et al., 2009; HOLZ et al., 2017). A fase positiva do SAM é associada com anomalias de baixa pressão na Antártida e de alta pressão nas latitudes médias, e esse gradiente de pressão é potencializado pelas correntes de jato de alto nível, nas médias e altas latitudes (ABRAM et al., 2014).

A ocorrência de centros de alta pressão, nas médias latitudes e em especial sobre o Atlântico Sul, é um dos fatores que frequentemente transporta umidade e baixas temperaturas do oceano para o continente, de acordo com o período do ano. Nos meses de verão, os ventos que carregam a umidade advêm predominantemente do Norte, fortalecidos pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que se encontra deslocada um pouco mais ao sul. Há nesse período uma banda de convecção de sentido noroeste-sudeste, coincidente com a estação chuvosa das regiões Sul e Sudeste do Brasil. A permanência dessa banda de nebulosidade por vários dias caracteriza a Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (PEZZI; SOUZA, 2009).

Os resultados indicam que as correlações mais fortes entre as cronologias e o SAM ocorrem também nos meses de verão (VILLALBA et al., 2012; LAVERGNE et

al., 2018), e podem estar associadas às condições de maior nebulosidade, causada pela ZCAS. Uma maior nebulosidade nesse período favoreceria a permanência de menores temperaturas em altitude, associada a uma condição de maiores precipitações e umidade ocasionadas pela orogenia da Serra do Mar, relações essas que já se mostraram significativas para os dados de clima local.

Nos meses de inverno, a ZCIT não é tão atuante sobre o Sul e Sudeste, e as zonas de alta pressão do Atlântico Sul se localizam mais ao sul, direcionando mais as temperaturas e umidade provenientes da região polar Antártida. Ainda, nessa época é fortalecida a entrada de frentes frias no sul do Brasil, em decorrência da variação da altura geopotencial nos níveis médios da troposfera (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009). As frentes frias trazem baixas temperaturas, aumento da pressão atmosférica e mudanças na direção dos ventos, e eventualmente precipitações, e também apresentam correlações significativas com as cronologias, porém de maneira mais fraca que nos meses de verão.

3.5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de cronologias de anéis de crescimento de árvores de *Ilex microdonta* para as quatro montanhas avaliadas atingiram séries temporais acima dos 200 anos, informação inédita para a Floresta Ombrófila Densa no Paraná, em especial para os ambientes altomontanos da Serra do Mar.

Os parâmetros estatísticos das cronologias corroboram outros estudos realizados também no sul do Brasil. Ainda que não obtiveram valores considerados elevados, comparados a outras espécies e unidades fitogeográficas, os dados de EPS e RBAR reafirmam a sua utilização para os estudos de relação com o clima.

Foi possível identificar sinais climáticos nas cronologias e, dentre as variáveis locais testadas, a que melhor obteve valores de correlação foi a temperatura mínima, seguida da precipitação e, por último, a temperatura máxima.

A identificação de teleconexões com sistemas climáticos globais foi possível, também, de ser identificada nas cronologias, com destaque às relações encontradas com o Modo Anular Sul (*SAM – Southern Annular Mode*), em especial com os meses de verão, no auge da estação de crescimento, tanto no ano t quanto ano $t-1$.

A análise de *I. microdonta* permitiu ampliar o conjunto de espécies possíveis de serem utilizadas em estudos dendroclimatológicos, por sua longevidade, comparada a outras espécies frequentemente abordadas em estudos dendrocronológicos. Há, também, uma necessidade de expandir os estudos em sítios com maior sensibilidade a variabilidade climática tanto em nível local como global, como é o caso dos ambientes altomontanos da Floresta Atlântica, hoje considerada um dos *hotspots* da biodiversidade mundial.

REFERÊNCIAS

- ABRAM, N. J. et al. Evolution of the Southern Annular Mode during the past millennium. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 564–569, 2014.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDREACCI, F. **Atividade cambial, fenologia vegetativa e ritmo de crescimento de Cedrela fissilis Vell. em áreas de florestas ombrófilas mista e densa do estado do Paraná: aspectos dendrocronológicos e dendroecológicos**. 56 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 2017–2030, 2005.
- AZIM, A. A. A.; OKADA, N. Occurrence and anatomical features of growth rings in tropical rainforest trees in Peninsular Malaysia: a preliminary study. **Tropics**, v. 23, n. 1, p. 15–31, 2014.
- BATTIPAGLIA, G. et al. Long tree-ring chronologies provide evidence of recent tree growth decrease in a Central African tropical forest. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–21, 2015.
- BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado e Planejamento, 1978.
- BONINSEGNA, J. A. et al. Dendroclimatological reconstructions in South America: A review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3–4, p. 210–228, 2009.
- BORCHERT, R. Climatic periodicity, phenology and cambium activity in tropical dry forest trees. **IAWA Journal**, v. 20, n. 3, p. 239–247, 1999.
- BOWERMAN, A. R. et al. An influence of extreme southern hemisphere cold surges on the North Atlantic Subtropical High through a shallow atmospheric circulation. **Journal of Geophysical Research**, v. 122, n. 10, p. 135–148, 2017.

BRIENEN, R. J. W. et al. Tree height strongly affects estimates of water-use efficiency responses to climate and CO₂ using isotopes. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2017.

BRIFFA, K. R. Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology. In: VON STORCH, H.; NAVARRA, A. (Eds.). **Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. p.77–94.

BRIFFA, K. R. et al. Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. **Climate Dynamics**, v. 7, p. 111–119, 1992.

BROTTO, M. L. et al. Flórula do Morro dos Perdidos, Serra de Araçatuba, Paraná, Brasil: Aquifoliaceae. **Estudos de Biologia**, v. 29, n. 67, p. 129–135, 2007.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of tropical montane cloud forests: A Reassessment. **Land Use and Water Resources Research**, v. 1, p. 1–18, 2001.

CARDOSO, F. C. G. et al. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1–2, p. 269–281, 2012.

CARRER, M.; URBINATI, C. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. **Ecology**, v. 85, n. 3, p. 730–740, 2004.

CATTANEO, N. et al. Sex-related, growth-climate association of *Araucaria angustifolia* in the neotropical ombrophilous woodlands of Argentina. **Dendrochronologia**, v. 31, n. 3, p. 147–152, 2013.

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 317–336.

CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.317–336.

CHIESSI, C. M. et al. Possible impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the South American summer monsoon. **Geophysical Research Letters**, v. 36, p. 1–5, 2009.

COOK, E. R. et al. The North Atlantic Oscillation using tree-ring chronologies from North America and Europe. **Holocene**, v. 8, n. 1, p. 9–17, 1998.

COOK, E. R. et al. The ‘segment length curse’ in long tree-ring chronology development for palaeoclimatic studies. **The Holocene**, v. 5, n. 2, p. 229–237, 1995.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Science**. Boston: Kluwer Press, 1990.

DUCHESNE, L. et al. Extracting coherent tree-ring climatic signals across spatial scales from extensive forest inventory data. **PLoS ONE**, v. 12, n. 12, p. 1–20, 2017.

DÜNISCH, O. et al. Growth dynamics in wood formation of plantation-growth *Swietenia macrophylla* King and *Carapa guianensis* Aubl. **Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft**, v. 193, p. 79–96, 1999.

DÜNISCH, O. et al. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees**, v. 17, p. 244–250, 2003.

EDWIN, G.; REITZ, P. R. Aquifoliáceas. In: REITZ, P. R. (Ed.). **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1967. p.47.

ELLER, C. B. et al. Foliar uptake of fog water and transport belowground alleviates drought effects in the cloud forest tree species *Drimys brasiliensis* (Winteraceae). **New Phytologist**, v. 199, n. 1, p. 151–162, 2013.

FALLAH, A. et al. Investigating the out-of-roundness and pith-off-centre in stems of three broadleaved species in Hyrcanian forests. **Journal of Forest Science**, v. 2012, n. 11, p. 513–518, 2012.

FANG, K. et al. Influence of non-climatic factors on the relationships between tree growth and climate over the Chinese Loess Plateau. **Global and Planetary Change**, v. 132, p. 54–63, 2015a.

FANG, K. et al. Moisture stress of a hydrological year on tree growth in the Tibetan Plateau and surroundings. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 3, p. 34010, 2015b.

FANG, K. et al. An Ensemble Weighting Approach for Dendroclimatology: Drought Reconstructions for the Northeastern Tibetan Plateau. **PLoS ONE**, v. 9, n. 1, p. 1–10, 2014.

FERRERO, M. E. et al. Tree-growth responses across environmental gradients in subtropical Argentinean forests. **Plant Ecology**, v. 214, n. 11, p. 1321–1334, 2013.

FONTANA, C. et al. Climatic signal in growth-rings of *Copaifera lucens*: An endemic species of a Brazilian Atlantic forest hotspot, southeastern Brazil. **Dendrochronologia**, v. 50, p. 23–32, 2018.

FRITTS, H. C. **Tree Rings and Climate**. Caldwell: The Blackburn Press, 1976.

GLUECK, M. F.; STOCKTON, C. W. Reconstruction of the North Atlantic Oscillation, 1429–1983. **International Journal of Climatology**, v. 21, p. 1453–1465, 2001.

GRANATO-SOUZA, D. et al. Dendrochronological analyses and climatic signals of *Alchornea triplinervia* in subtropical forest of southern Brazil. **Austral Ecology**, v. 43, p. 385–396, 2018.

GRIMM, A. M. Clima da região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009a. p. 259–276.

GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009b. p. 353–374.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589–1609, 2009.

GRISSINO-MAYER, H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree-Ring Research**, v. 57, n. 2, p. 205–221, 2001.

GROPPO, M. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**: Aquifoliaceae. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015.

GUPTA, A. S.; ENGLAND, M. H. Coupled ocean–atmosphere–ice response to variations in the Southern. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4457–4486, 2006.

HAMILTON, L. S. et al. **Tropical Montane Cloud Forests**. New York: Springer-Verlag, 1995.

HATHAWAY, D. H. The Solar Cycle. **Living Reviews in Solar Physics**, v. 7, n. 1, p. 1–81, 2010.

HELM, B. et al. Annual rhythms that underlie phenology : biological time-keeping meets environmental change. **Proceedings of the Royal Society**, v. 280, n. 1765, p. 20130016, 2013.

HOEGH-GULDBERG, O. et al. Impacts of 1.5 °C global warming on natural and human systems. In: IPCC - International Panel on Climate Change. (Ed.). **Global Warming of 1.5 °C**. 2018.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, v. 43, p. 69–78, 1983.

HOLZ, A. et al. Southern Annular Mode drives multicentury wildfire activity in southern South America. **PNAS**, v. 114, n. 36, p. 1–6, 2017.

IRVING, D.; SIMMONDS, I. A new method for identifying the Pacific-South American pattern and its influence on regional climate variability. **Journal of Climate**, v. 29, n. 17, p. 6109–6125, 2016.

KANIESKI, M. R. et al. Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B. Sm. & Downs e *Hovenia dulcis* Thunb. em uma área degradada na Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1201–1215, 2017.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 531–540, 2007.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Variabilidade decenal a multidecenal. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 375–384.

LARA, A. et al. Spatial and temporal variation in *Nothofagus pumilio* growth at tree line along its latitudinal range (35 ° 40' – 55 ° S) in the Chilean Andes. **Journal of Biogeography**, v. 32, p. 879–893, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Editora RiMa, 2006.

LAVERGNE, A. et al. Past summer temperatures inferred from dendrochronological records of *Fitzroya cupressoides* on the eastern slope of the northern patagonian Andes. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 123, n. 1, p. 32–45, 2018.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil**. 216 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LOCOSSELLI, G. M. et al. Rock outcrops reduce temperature-induced stress for tropical conifer by decoupling regional climate in the semiarid environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 5, p. 639–649, 2016.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B. Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil**. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. em duas condições geomorfológicas no sul do Brasil**. 110 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LONGHI-SANTOS, T. et al. Dendroecological study of *Myrceugenia glaucescens* (Cambess.) D. Legrand & Kausel. in Alluvial Mixed Ombrophilous Forest, Paraná, Brazil. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, p. 20–26, 2015.

LÓPEZ, L.; VILLALBA, R. Climate influences on the radial growth of *Centrolobium microchaete*, a valuable timber species from the tropical dry forests in Bolivia. **Biotropica**, v. 43, n. 1, p. 41–49, 2011.

LORENSI, C. **Estudo de eventos de *El Niño* e *La Niña* em anéis de crescimento de árvores para a região sul do Brasil**. 116 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 35–44, 2002.

MARSHALL, G. J. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. **Journal of Climate**, v. 16, n. 24, p. 4134–4143, 2003.

MBIRIRI, M. et al. Influence of altitude on the spatiotemporal variations of meteorological droughts in mountain regions of the free state province, South Africa (1960–2013). **Advances in Meteorology**, v. 2018, p. 1–11, 2018.

MCCARROLL, D. et al. Multiproxy dendroclimatology: A pilot study in northern Finland. **Holocene**, v. 13, n. 6, p. 829–838, 2003.

MELVIN, T. M.; BRIFFA, K. R. A “signal-free” approach to dendroclimatic standardisation. **Dendrochronologia**, v. 26, n. 2, p. 71–86, 2008.

METEOROLOGY, B. **Climate Glossary - Southern Oscillation Index**. Disponível em: <www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>. Acesso em: 07 out. 2018.

MILANI, J. E. F. **Autoecologia De Espécies Arbóreas De Uma Floresta Aluvial : Fenologia E Crescimento**. 94 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MIRANDA, B. P. **Dendroecologia de *Ilex microdonta* Reissek e *Drimys brasiliensis* Miers em dois ambientes altomontanos da Serra do Mar, Paraná, Brasil**. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MO, K. C. Relationships between low-frequency variability in the southern hemisphere and sea surface temperature anomalies. **Journal of Climate**, v. 13, p. 3599–3610, 2000.

MO, K. C.; HIGGINS, R. W. The Pacific–South American modes and Tropical Convection during the Southern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 6, p. 1581–1596, 1998.

MORALES, M. S. et al. Rainfall-controlled tree growth in high-elevation subtropical treelines. **Ecology**, v. 85, n. 11, p. 3080–3089, 2004.

O'DONNELL, A. J. et al. Tree rings show recent high summer-autumn precipitation in northwest Australia is unprecedented within the last two centuries. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, p. 1–18, 2015.

OLIVEIRA, J. M. et al. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. **Austral Ecology**, v. 35, p. 134–147, 2010.

OOSTHOEK, K. J. **Reconstructing past climates**. Disponível em: <<https://www.eh-resources.org/reconstructing-past-climates/>>. Acesso em: 01 out. 2018.

PEDERSON, N. et al. Is an epic pluvial masking the water insecurity of the greater New York. **Journal of Climate**, v. 26, p. 1339–1354, 2013.

PEZZI, L.; SOUZA, R. B. Variabilidade de mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 385–406.

PIOVESAN, G.; SCHIRONE, B. Winter North Atlantic oscillation effects on the tree rings of the Italian beech (*Fagus sylvatica* L.). **International Journal of Biometeorology**, v. 44, p. 121–127, 2000.

PIRAINO, S. et al. Geomorphological-related heterogeneity as reflected in tree growth and its relationships with climate of Monte Desert *Prosopis flexuosa* DC woodlands. **Trees**, v. 23, n. 3, p. 1–14, 2015.

PUCHA-COFREP, D. et al. Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. **Global and Planetary Change**, v. 133, p. 65–78, 2015.

RAUBER, R. C. **Dendroecologia de Cedrella fissilis Vell. (Meliaceae) em um ecótono de Florestas Subtropicais Montanas no Brasil**. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

REBOITA, M. S. et al. Relationship between the Southern Annular Mode and southern hemisphere atmospheric systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 48–55, 2009.

RIGOZO, N. R. et al. ENSO influence on tree ring data from Chile and Brazil. **Geofísica Internacional**, v. 43, n. 2, p. 287–294, 2004.

ROBERTSON, A.; MECHOSO, C. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic Convergence Zone. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 2947–2957, 2000.

RODERJAN, C. V. **O gradiente da Floresta Ombrófila Densa no Morro Anhangava, Quatro Barras, PR - Aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos**. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

RODERJAN, C. V. et al. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência&Ambiente**, v. 1, n. 24, p. 1–12, 2002.

RODERJAN, C. V.; GRODZKI, L. Acompanhamento meteorológico em um ambiente de Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro Anhangava, Quatro Barras - PR, no ano de 1993. **Cadernos da Biodiversidade**, v. 2, n. 1, p. 27–34, 1999.

SAVI, M. **Análise ecossistêmica da Serra do Mar paranaense: Área de Especial Interesse Turístico do Marumbi**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SCHNEIDER, C.; GIES, D. Effects of *El Niño*-southern oscillation on southernmost South America precipitation at 53°S revealed from NCEP-NCAR reanalyses and weather station data. **International Journal of Climatology**, v. 24, n. 9, p. 1057–1076, 2004.

SHEPPARD, P. R. Dendroclimatology: Extracting climate from trees. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 1, n. 3, p. 343–352, 2010.

SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. Para entender tempo e clima. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.15–22.

SOLANKI, S. K. Sunspots : An overview. **The Astronomy and Astrophysics Review**, v. 11, p. 153–286, 2003.

SPEER, J. H. **Fundamentals of Tree-Ring Research**. 3 ed. Tucson: The University of Arizona Press, 2010.

STAHLE, D. W. et al. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**, v. 124, n. 2–3, p. 217–229, 1999.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends. **Journal of Climate**, v. 13, n. 5, p. 1018–1036, 2000.

TOWNSEND, C. R. et al. **Fundamentos em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

VENEGAS-GONZÁLEZ, A. et al. Sensitivity of tree ring growth to local and large-scale climate variability in a region of Southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, n. 1–2, p. 233–245, 2016.

VICENTE-SERRANO, S. M. et al. A multiscale drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. **Journal of Climate**, v. 23, n. 7, p. 1696–1718, 2010.

VIEIRA, R. S. **Influência de feições geomórficas sobre os padrões pedológicos, florísticos e estruturais de florestas altomontanas na Serra do Mar do Paraná–Brasil**. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

VILLALBA, R. et al. Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South America. **International Journal of Climatology**, v. 18, p. 1463–1478, 1998.

VILLALBA, R. et al. Unusual Southern Hemisphere tree growth patterns induced by changes in the Southern Annular Mode. **Nature Geoscience**, v. 5, n. 11, p. 793–798, 2012.

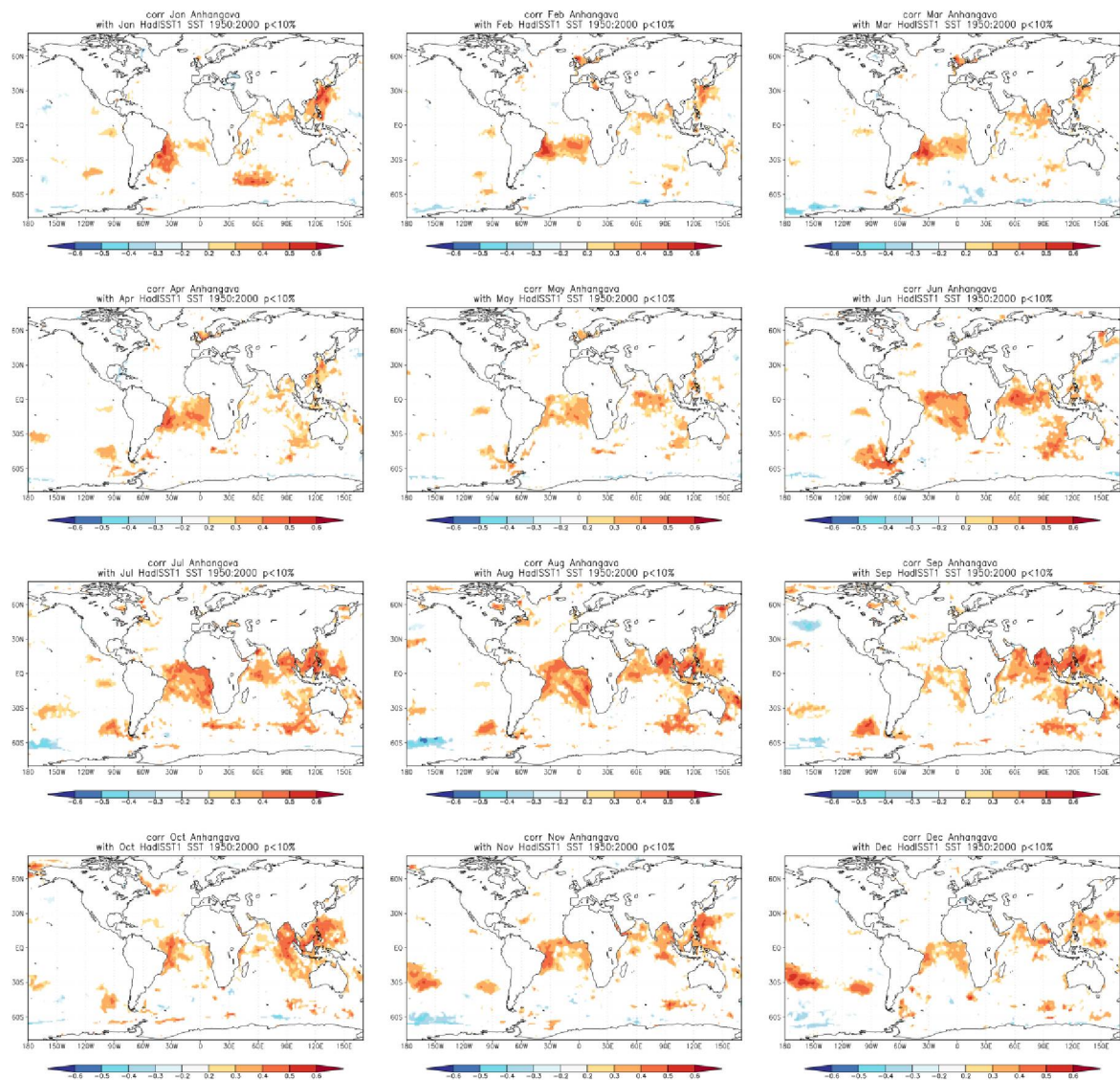
WANG, S. et al. Combined effects of the Pacific Decadal Oscillation and *El Niño*-Southern Oscillation on Global Land Dry-Wet Changes. **Scientific Reports**, v. 4, n. 6651, p. 1–8, 2014.

WIGLEY, T. M. L. et al. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 23, n. 2, p. 201–213, 1984.

ZANG, C.; BIONDI, F. Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. **Dendrochronologia**, v. 31, p. 68–74, 2013.

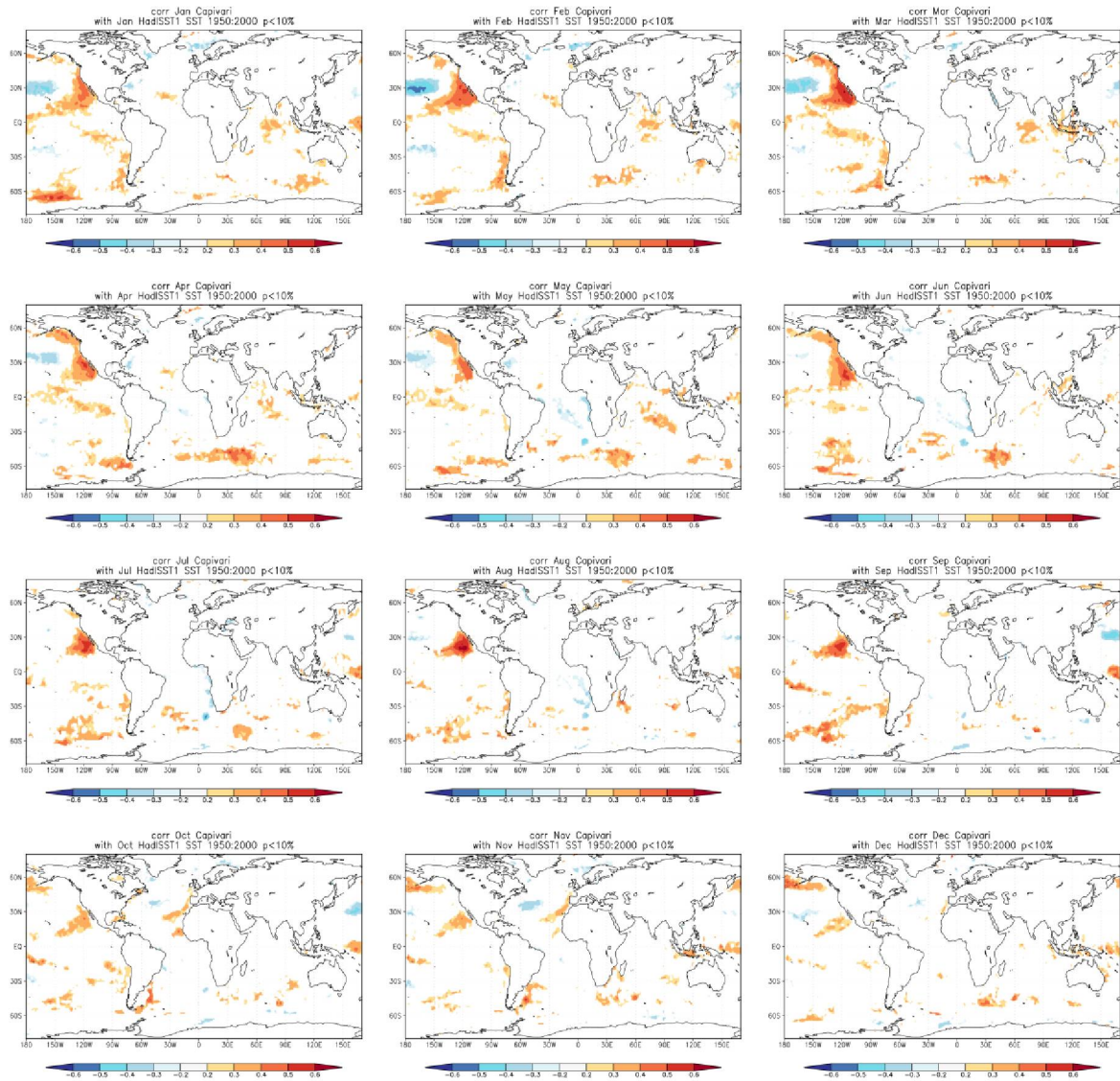
ANEXO 1

COMPORTAMENTO DA SST AO LONGO DO ANO E CORRELAÇÕES COM A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO ANHANGAVA.



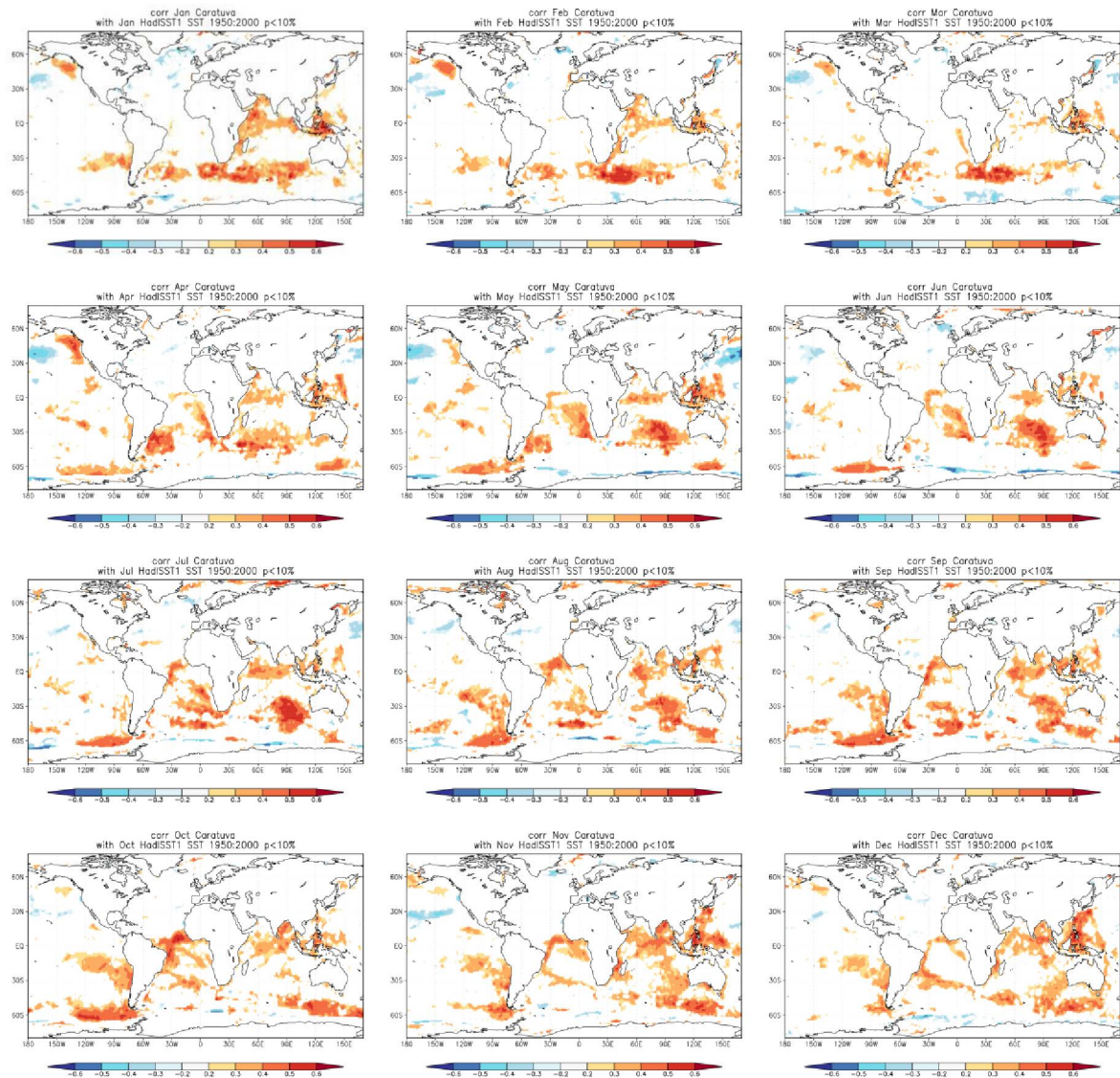
ANEXO 2

COMPORTAMENTO DA SST AO LONGO DO ANO E CORRELAÇÕES COM A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO CAPIVARI.



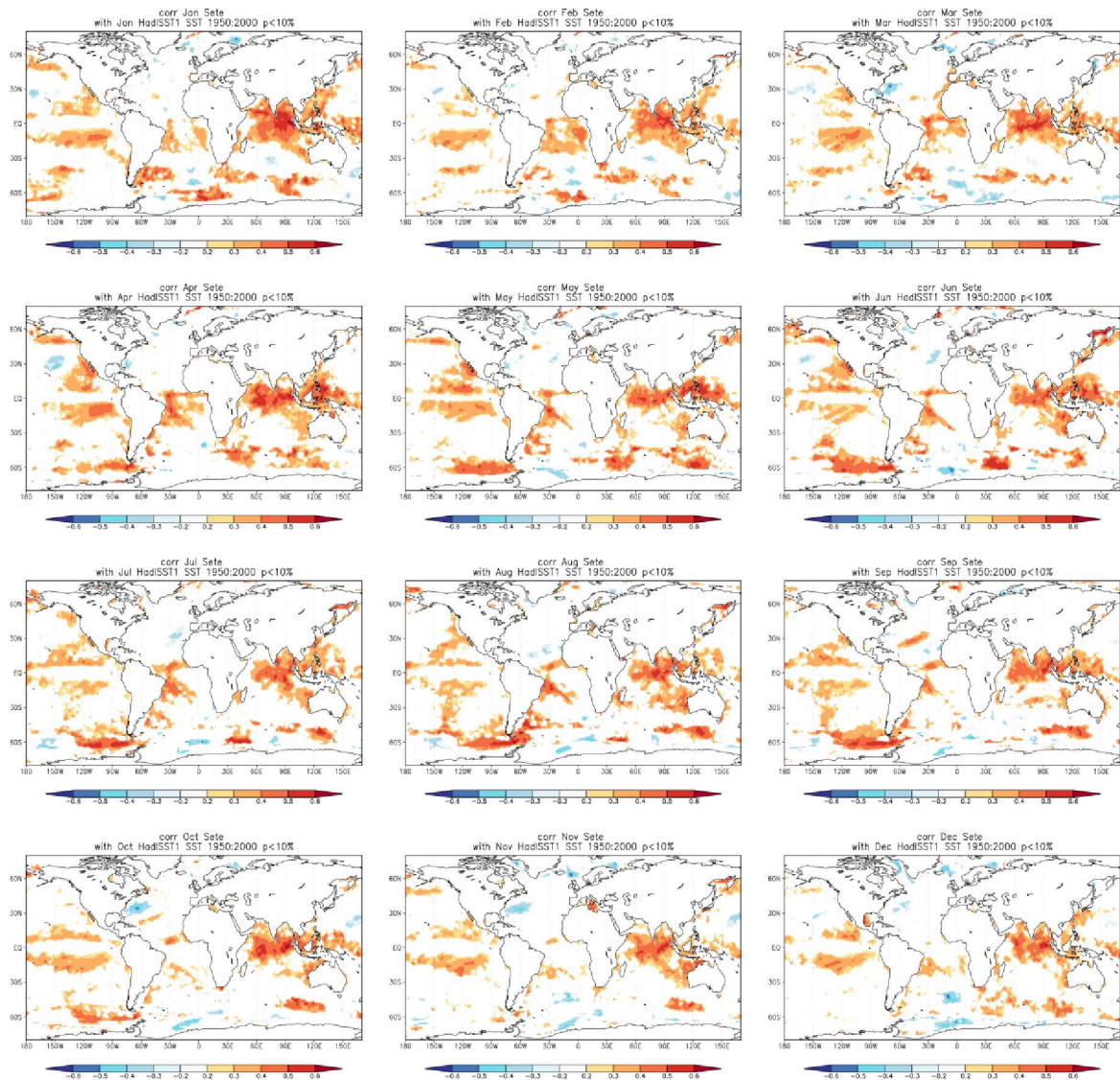
ANEXO 3

COMPORTAMENTO DA SST AO LONGO DO ANO E CORRELAÇÕES COM A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO CARATUVA.



ANEXO 4

COMPORTAMENTO DE SST AO LONGO DO ANO E CORRELAÇÕES COM A CRONOLOGIA DESENVOLVIDA PARA O SÍTIO SETE.



CAPÍTULO 2

4 MODELAGEM E TRAJETÓRIAS DE CRESCIMENTO DE *Ilex microdonta* REISSEK (AQUIFOLIACEAE) EM FLORESTA ATLÂNTICA DE ALTITUDE NO SUL DO BRASIL

RESUMO

As florestas tropicais nebulares de montanha são ecossistemas singulares dentro do bioma Mata Atlântica. Diversas são suas características intrínsecas, muito em função das elevadas altitudes nas quais as florestas ocorrem, principalmente a respeito da sua estrutura horizontal e distribuição diamétrica do componente arbóreo. Muito embora seja notadamente reconhecido que as condicionantes pedoclimáticas têm influência sobre o crescimento e desenvolvimento das florestas altomontanas, pouco se sabe ainda sobre as taxas médias de crescimento, e também sobre a estrutura etária dos indivíduos. Desse modo, esse capítulo teve por objetivo conhecer e modelar o crescimento de *Ilex microdonta* em quatro montanhas da Serra do Mar do Paraná. O crescimento dos indivíduos foi reconstruído com base no índice de largura dos anéis de crescimento da espécie, pela construção de curvas de produção. Foi calculado a razão de movimento entre as classes diamétricas, bem como ajustados modelos de crescimento para a espécie, em cada uma das montanhas avaliadas. Esses modelos tiveram suas estatísticas de performance avaliadas conforme menor AIC, maior IA e melhor distribuição gráfica dos resíduos. Os diâmetros médios, bem como as idades correspondentes não diferiram significativamente entre as montanhas, embora os valores de incremento médio anual foram distintos, a 95% de probabilidade. O tempo de passagem entre classes diamétricas apresentou um decréscimo ao longo das classes, entretanto, o crescimento acumulado se mostrou quase que linear, sem atingir valores assintóticos. Dentre os modelos de produção avaliados, o modelo de Weibull preponderou, considerando as estatísticas de performance. Dessa maneira, o crescimento da espécie nos ambientes altomontanos se mostrou bastante reduzido, comparado a outros estudos na Mata Atlântica, porém com resultados promissores no que tange à modelagem e compreensão do crescimento de espécies em ambientes altomontanos no Paraná.

Palavras-chave: crescimento, mata nebulosa, florestas altomontanas, modelos alométricos, curvas de produção, estatísticas de performance.

4.1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais nebulares de montanha (TMCFs – *Tropical Montane Cloud Forests*) incluem todas as florestas úmidas dos trópicos que estão constantemente recobertas por nuvens ou neblina, recebendo um aporte adicional de umidade, além da precipitação vertical, pela captura da condensação (precipitação horizontal) na vegetação, influenciando o regime hidrológico, balanço de radiação e outros parâmetros edafoclimáticos e ecológicos (STADTMÜLLER, 1987). Elas são alvo de diversos estudos, em diferentes áreas, tais como: ocorrência e distribuição, endemismo de espécies, características biométricas dos vegetais, clima ocorrente e estudos hidrológicos associados, fauna e estado atual de conservação (HAMILTON et al., 1995; STILL et al., 1999; BRUIJNZEEL, 2001, 2004; BRUIJNZEEL et al., 2011).

As elevadas altitudes imprimem alterações na estrutura das florestas, como baixas estaturas e tendências de árvores com folhas menores, mais espessas e coriáceas, características ditas “xeromórficas” (WHITMORE, T. C. W., 1989). Essas características imprimem nas TMCFs baixas produtividades primárias e menores taxas de incremento em diâmetro (GIRARDIN et al., 2010), concentração de N e/ou P nas folhas e menores taxas de ciclagem de nutrientes em comparação com pisos altitudinais inferiores, que podem ser causados por uma menor irradiação solar e constantes eventos de neblina sobre a vegetação (BRUIJNZEEL; VENEKLAAS, 1998; ELLER, 2016).

Os atributos biométricos das espécies são, também, diferenciados nesses ambientes e, em especial, ao componente arbóreo, atingem dimensões significativamente menores que os encontrados em regiões com altitudes menos elevadas (AIBA; KITAYAMA, 1999).

Embora exista uma interdependência entre os recursos ambientais disponibilizadas no ambiente para as plantas e o seu crescimento, num dado local e tempo (LONGHI-SANTOS, 2017), nas TMCFs esses processos ainda não são muito bem compreendidos (BRUIJNZEEL; VENEKLAAS, 1998). Conhecer o comportamento de crescimento das espécies frente às diversas adversidades, sejam elas climáticas, pedológicas ou mesmo ecológicas, é de suma importância para entender de que maneira as espécies se desenvolvem, e como se dá o crescimento ao longo da vida das árvores.

O reflexo dessas condições às quais as árvores estiveram sujeitas ao longo do tempo pode ser registrado nos anéis de crescimento com periodicidade de formação conhecida, permitindo reconstruir o crescimento da árvore (FRITTS, 1976; WORBES, 1995, 1999; BRIENEN; ZUIDEMA, 2005; LISI et al., 2008). Assim sendo, esses anéis são verdadeiras fontes biológicas de informação sobre a dinâmica ecológica dos ecossistemas e, em especial, nas TMCFs.

Na floresta Atlântica do estado do Paraná alguns trabalhos têm avaliado o crescimento de espécies arbóreas, entretanto, todos estes em patamares altitudinais inferiores (SHIMAMOTO, 2012; SHIMAMOTO et al., 2016). Como as condições de crescimento nas TMCFs são diferenciadas, em virtude de vários fatores pedoclimáticos, há uma lacuna de conhecimento a respeito, principalmente, das taxas de crescimento de espécies nesses ambientes de maiores altitudes, e em especial da Serra do Mar, unidade fisiográfica que detém a ocorrência das TMCFs (MAACK, 2012).

Assim sendo, esse trabalho teve por objetivo conhecer as taxas de crescimento de *Ilex microdonta*, espécie bioindicadora das TMCFs no estado do Paraná (KOEHLER et al., 2002; VIEIRA, 2016), em quatro áreas de florestas altomontanas da Serra do Mar, buscando responder às seguintes perguntas: (a) Há diferenças entre as taxas médias de crescimento da espécie nas diferentes TMCFs avaliadas? (b) É possível o ajuste de modelos alométricos com base nos dados de anéis de crescimento da espécie? (c) Dentre os modelos, qual o que apresenta as melhores estatísticas de performance?

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações relativas às áreas de estudos, a coleta e o preparo do material foram descritas no item 2 desta tese.

Os dados de largura dos anéis de crescimento foram avaliados conforme seu ano biológico, considerando o primeiro anel da série temporal como o ano 1, mesma metodologia aplicada por Longhi-Santos (2017). Dessa forma, foram estimadas as idades dos indivíduos conforme o número de anéis presentes em cada amostra. Para cada árvore foi gerada uma série média de crescimento, com base na média da largura dos anéis de crescimento de cada uma das séries amostradas por indivíduo.

As amostras que não apresentaram a medula foram removidas do conjunto de dados para o cálculo das trajetórias de crescimento, conforme TABELA 3. Entretanto, essas mesmas árvores tiveram seus dados de idade e diâmetro ajustados pela metodologia de Duncan (1989), para o ajuste dos modelos de diâmetro vs idade, e do tempo de passagem de classe.

TABELA 3 - NÚMERO DE ÁRVORES REMOVIDAS DO CONJUNTO DE DADOS POR SÍTIO, PELA AUSÊNCIA DA MEDULA NA AMOSTRA.

Sítio	Número de árvores removidas	Percentual do total
AN	3	10%
CP	6	20%
CR	4	13,3%
SE	5	16,6%

FONTE: O autor (2019).

Foram geradas curvas de crescimento acumulado (curvas de produção) por árvore, e uma curva média, por sítio, buscando visualizar o comportamento do crescimento da espécie, de acordo com Brien e Zuidema (2006). Os dados de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total das árvores (Ht), as idades estimadas e os valores das curvas médias brutas de crescimento dos sítios foram comparados entre si pelo teste de Kruskal-Wallis, a um nível de significância de 95%, pelo software *Statgraphics Centurion XVI.II*, tendo seus gráficos gerados pelo software R, por meio do algoritmo *boxplot*.

Foi calculado, também, o tempo de passagem de classe (razão de movimentos), que corresponde ao período em que a árvore muda de uma classe diamétrica para a classe seguinte (SANTOS et al., 2017), dentro do mesmo sítio de estudo. Foi estabelecido um intervalo de classe de 1cm, uma vez que os incrementos periódicos são da ordem de milímetros e assim, as árvores não têm diâmetros substancialmente elevados, diferentemente de como ocorre em outros ambientes (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006; LONGHI-SANTOS, 2017).

A fim de conhecer o comportamento do crescimento ao atingir diâmetros pré-estabelecidos (1 cm, 5 cm e 10 cm), foi calculado também o tempo necessário para que as árvores atingissem esses valores, por sítio, bem como o incremento médio anual relativo a cada um desses períodos.

Os dados, que inicialmente foram mensurados em incremento anual radial, tiveram seus valores transformados em incrementos diamétricos, por árvore. A estimativa dos diâmetros a cada ano foi realizada considerando o modelo de crescimento biológico, a partir de uma curva sigmoidal. Foi utilizado o método de Marquardt para modelar o crescimento das árvores (SANQUETTA et al., 2010; RODRIGUES, 2016), através da rotina Solver, do aplicativo Microsoft Excel 365, a partir do parâmetro GRG Não Linear.

Para realizar a modelagem dos dados, por meio de curvas diâmetro vs idade, foram utilizados sete modelos de produção, amplamente utilizados na ciência florestal (GOMPERTZ, 1825; KORF, 1939; BERTALANFFY, 1957; RICHARDS, 1959; NELDER, 1961; SCHÖNGART, 2008; KOYA; GOSHU, 2013), conforme a TABELA 4. Para cada um dos modelos foram geradas estatísticas de performance, para verificar a qualidade do ajuste das equações, com base no erro padrão da estimativa relativo (Syx%), Índice de Schlaegel (IA), que corresponde ao coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) (NASCIMENTO et al., 2013), distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem (SANQUETTA et al., 2010; RODRIGUES, 2016), o critério de informação de Akaike (AIC), que reflete a perda de informação associada às predições de um modelo e o AIC ponderado (AICw), que demonstra a probabilidade de um modelo ter um melhor ajuste e maior poder preditivo que os demais (MOSER; OLIVEIRA, 2017).

TABELA 4 - MODELOS DE PRODUÇÃO UTILIZADOS.

MODELO	EQUAÇÃO NÃO LINEAR
Chapman-Richards	$Diâmetro_{est} = \beta_0 \times (1 - e^{\beta_1 \times Idade})^{\beta_2}$
Gompertz	$Diâmetro_{est} = \beta_0 \times e^{(-\beta_1 \times e^{(-\beta_2 \times Idade)})}$
Bertalanfy	$Diâmetro_{est} = \beta_0 \times (1 - e^{\beta_1 \times Idade})^3$
Weibull	$Diâmetro_{est} = \beta_0 \times (1 - e^{\beta_1 \times Idade^{\beta_2}})$
Logístico	$Diâmetro_{est} = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_1 \times e^{-\beta_2 \times Idade})}$
Korf	$Diâmetro_{est} = \beta_0 \times e^{-\beta_1 \times Idade^{\beta_2}}$
GOL (<i>Growth Oriented Logging</i>)	$Diâmetro_{est} = \frac{\beta_0}{(1 + \left(\frac{\beta_1}{Idade}\right)^{\beta_2})}$

FONTE: O autor (2019).

Os modelos foram selecionados conforme melhor distribuição gráfica dos resíduos, menores valores de Syx%, maiores valores de IA, menores AIC e maiores AICw. Esses critérios foram utilizados buscando obter a melhor equação para explicar o crescimento da espécie ao longo dos anos, por sítio avaliado.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Dados biométricos

O diâmetro médio obtido para as árvores estudadas foi de 16,65 cm e a altura total média foi de 5,14m. Dentre os diâmetros médios por sítio, os menores encontrados foram no Caratuva, enquanto os maiores no Capivari (TABELA 5). As diferenças estatísticas entre os diâmetros médios de cada sítio foram consideradas não significativas ($p < 0,05$).

As maiores alturas totais encontradas foram observadas no sítio Anhangava, enquanto as menores no sítio Sete, sendo consideradas distintas significativamente, entre os sítios. Foram gerados gráficos de *boxplot* que apontam as diferenças entre os sítios, tanto para os diâmetros quanto para as alturas totais (FIGURA 24).

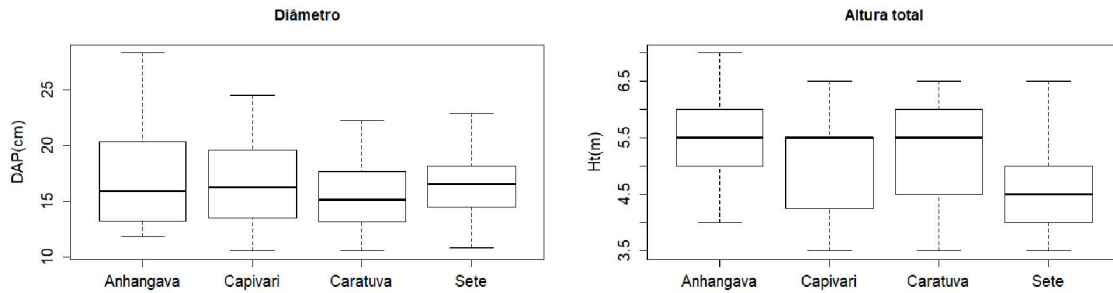
TABELA 5 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS ÁRVORES DE *I. microdonta* NOS DIFERENTES SÍTIOS ESTUDADOS.

Sítio	Diâmetros (cm)				Alturas (m)			
	AN	CP	CR	SE	AN	CP	CR	SE
Máximo	28,33	35,65	28,81	30,88	7,00	6,50	6,50	6,50
Média	16,71	17,50	15,54	16,87	5,52	5,10	5,30	4,68
Mínimo	11,78	10,50	10,50	10,82	4,00	3,50	3,50	3,50
Amplitude	16,55	25,15	18,30	20,05	3,00	3,00	3,00	3,00
Desvio Padrão	4,23	5,87	3,85	4,40	0,80	0,90	0,86	0,77
CV(%)	25,3	34,6	25,8	26	14,5	17,8	16,2	16,5
Sítio	Incremento corrente anual (mm.ano ⁻¹)				Idade estimada (anos)			
	AN	CP	CR	SE	AN	CP	CR	SE
Máximo	0,731	0,776	0,878	0,761	183	189	168	208
Média	0,602	0,568	0,628	0,551	122	130	119	139
Mínimo	0,323	0,408	0,406	0,358	67	81	77	83
Amplitude	0,408	0,368	0,472	0,403	116	108	91	125
Desvio Padrão	0,086	0,050	0,083	0,071	29	34	25	33
CV(%)	14,34	8,78	13,29	12,96	24,1	26,5	21,2	23,8

FONTE: O autor (2019)

LEGENDA: AN (Anhangava); CP (Capivari); CR (Caratuva); SE (Sete)

FIGURA 24 - FUNÇÕES BOXPLOT PARA DIÂMETROS (À ESQUERDA) E ALTURAS TOTAIS (À DIREITA) NOS QUATRO SÍTIOS AVALIADOS.

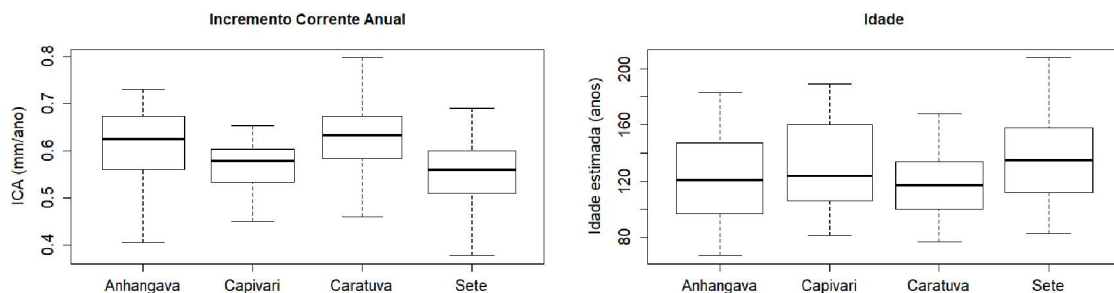


FONTE: O autor (2019).

O maior incremento médio anual foi observado no sítio Caratuva, com $0,628 \text{ mm.ano}^{-1} \pm 0,083$, enquanto o menor valor médio foi observado no Sete, com $0,551 \text{ mm.ano}^{-1} \pm 0,071$. Nos sítios Anhangava e Capivari as larguras médias foram de $0,602 \text{ mm.ano}^{-1} \pm 0,086$ e $0,568 \text{ mm.ano}^{-1} \pm 0,05$, respectivamente (TABELA 5 e FIGURA 25). Os valores de largura dos anéis de crescimento diferiram significativamente entre os sítios.

Em relação às idades, no sítio Sete foi onde verificaram-se os indivíduos com a maior idade média (139 anos), seguido pelo Capivari (130 anos), Anhangava (122 anos) e Caratuva (120 anos). A maior idade encontrada foi no sítio Sete, uma árvore com 208 anos, e a menor no Anhangava, com 67 anos. As idades observadas não diferiram significativamente entre os sítios. É perceptível a relação inversa entre as variáveis de incremento corrente anual e idade, conforme mostra a FIGURA 25.

FIGURA 25 - À ESQUERDA, INCREMENTO CORRENTE ANUAL DE *I. microdonta* NOS DIFERENTES SÍTIOS DE ESTUDO. À DIREITA, IDADES ESTIMADAS PARA CADA UM DOS SÍTIOS.

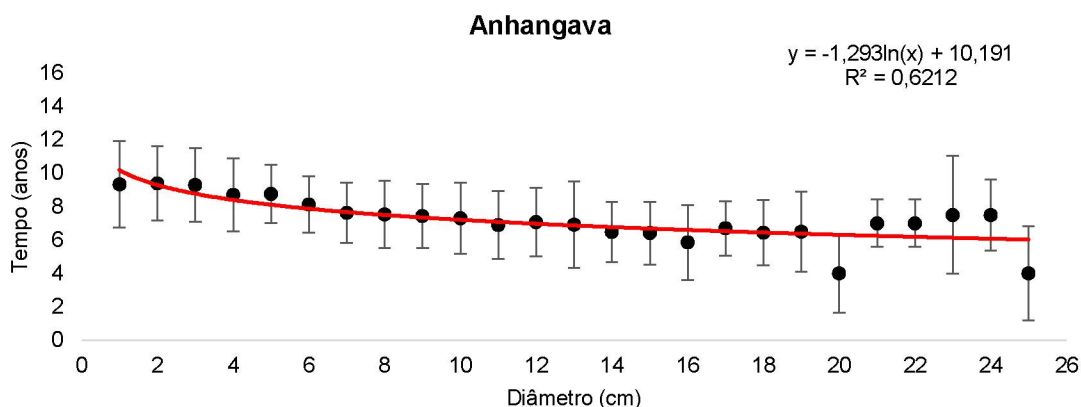


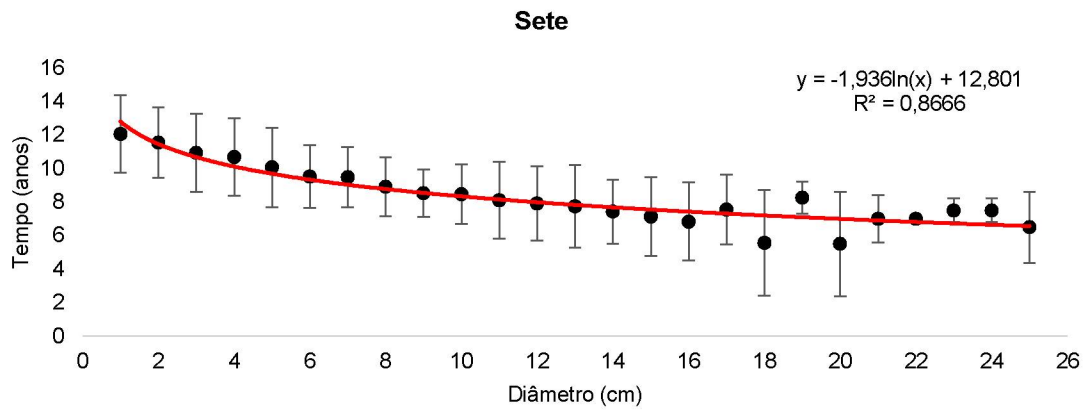
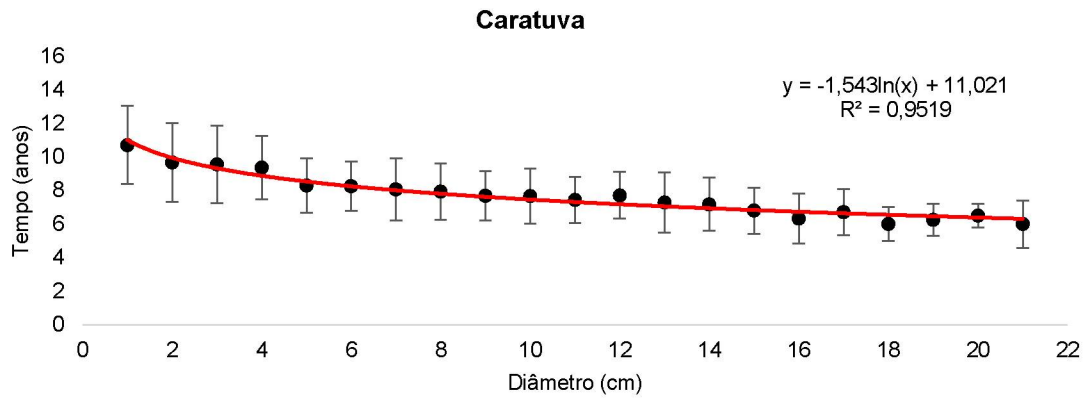
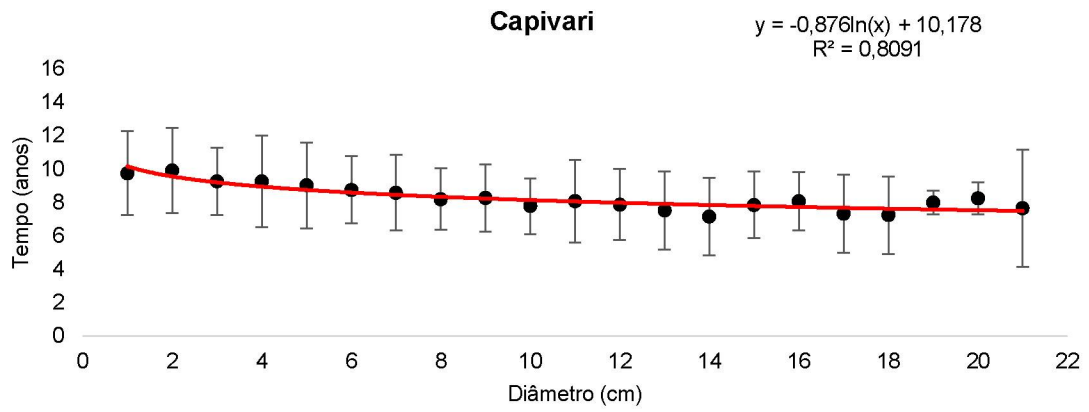
FONTE: O autor (2019).

Considerando que o incremento corrente anual foi distinto entre os sítios, é importante entender como ele se comportou ao longo dos anos, principalmente a respeito do tempo de permanência nas diferentes classes diamétricas. Em todos os sítios as árvores permaneceram mais tempo nas primeiras classes, como é o esperado para florestas nativas, com aspecto de J invertido. Houve um leve decréscimo do tempo de passagem até aproximadamente os 15 cm de diâmetro, ponto a partir do qual as variações de tempo de passagem foram mais evidentes (FIGURA 26).

Em relação aos tempos máximo e mínimo de passagem de classe, o maior valor foi obtido nos sítios Capivari, Caratua e Sete, com 18 anos, todos estes na primeira classe diamétrica (TABELA 6). Os menores valores de tempo de passagem foram com apenas 1 ano, nos sítios Anhangava e Sete. Ao mesmo tempo que o sítio Sete passou por períodos bastante longos nas primeiras classes, em classes mais avançadas ele pode acelerar o incremento, sendo reflexo de condições mais favoráveis ao crescimento da espécie nesse sítio.

FIGURA 26 - TEMPO MÉDIO DE PASSAGEM ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS (1 cm), POR SÍTIO. A LINHA VERMELHA REPRESENTA A TENDÊNCIA DE DECAIMENTO DO TEMPO NAS DISTINTAS CLASSES.





FONTE: O autor (2019).

TABELA 6 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO TEMPO DE PASSAGEM ENTRE OS SÍTIOS.

Parâmetros (anos)	AN	CP	CR	SE
Média	7.2	8.3	7.7	8.3
Máximo	15	18	18	18
Mínimo	1	2	4	1
Desvio Padrão	2.07	2.14	1.57	1.91

FONTE: O autor (2019).

A variação do crescimento das árvores foi reflexo dos tempos de passagem distintos entre os sítios, principalmente ao atingir alguns diâmetros pré-estabelecidos (1 cm, 5 cm e 10 cm). Dentre os sítios avaliados, o Sete foi aquele em que as árvores necessitaram mais tempo para atingir esses valores diamétricos, arbitrariamente estabelecidos, ao passo que no sítio Anhangava os indivíduos foram os que necessitaram menos tempo. Consequentemente, os incrementos médios anuais foram reflexo desses períodos, numa proporção inversa (TABELA 7).

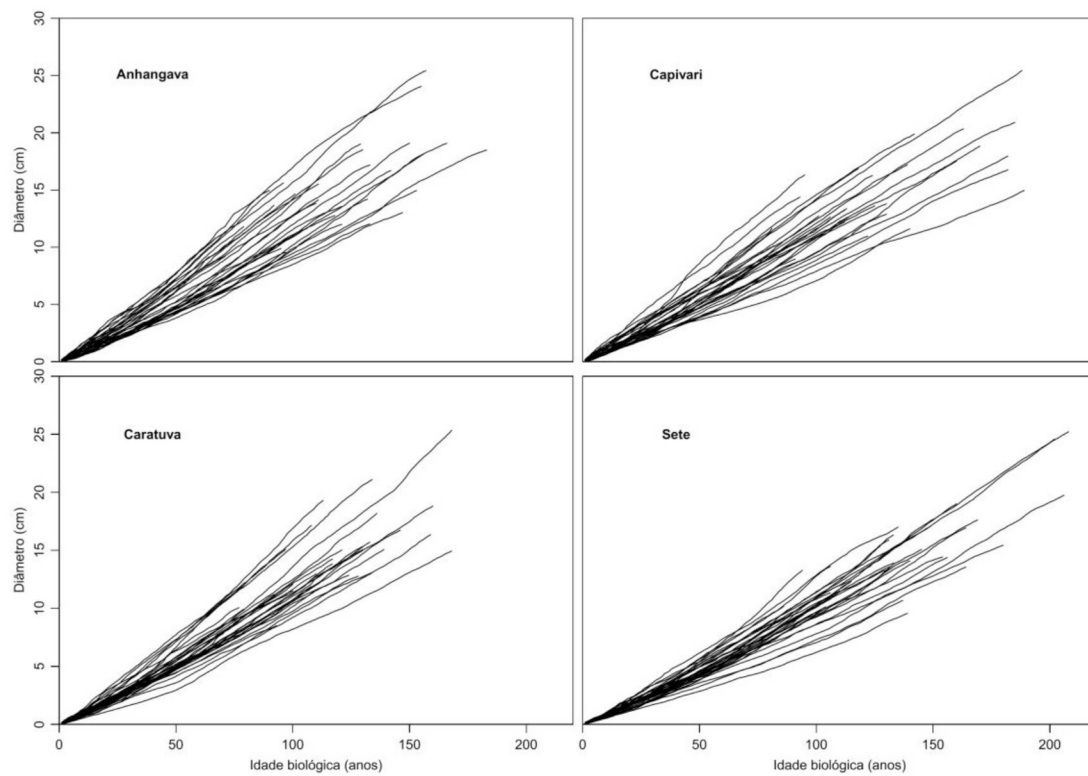
TABELA 7 - TEMPO NECESSÁRIO (EM ANOS) PARA ATINGIR OS DIÂMETROS MÍNIMOS ESPERADOS DE 1 cm, 5 cm E 10 cm. ONDE: TEMPO, EM ANOS; IMA – INCREMENTO MÉDIO ANUAL, EM mm.O-1.

Sítio	1cm		5cm		10cm	
	Tempo	IMA	Tempo	IMA	Tempo	IMA
AN	9.3±2.5	1.16±0.33	45.5±2.2	1.14±0.24	83.5±2.1	1.24±0.24
CP	9.8±2.5	1.11±0.34	47.3±2.5	1.10±0.23	88.9±2.2	1.17±0.22
CR	10.7±2.3	0.97±0.19	47.6±2.1	1.08±0.19	87.2±1.9	1.18±0.18
SE	12.1±2.3	0.86±0.16	55.3±2.3	0.93±0.14	100.2±2.0	1.02±0.14

FONTE: O autor (2019).

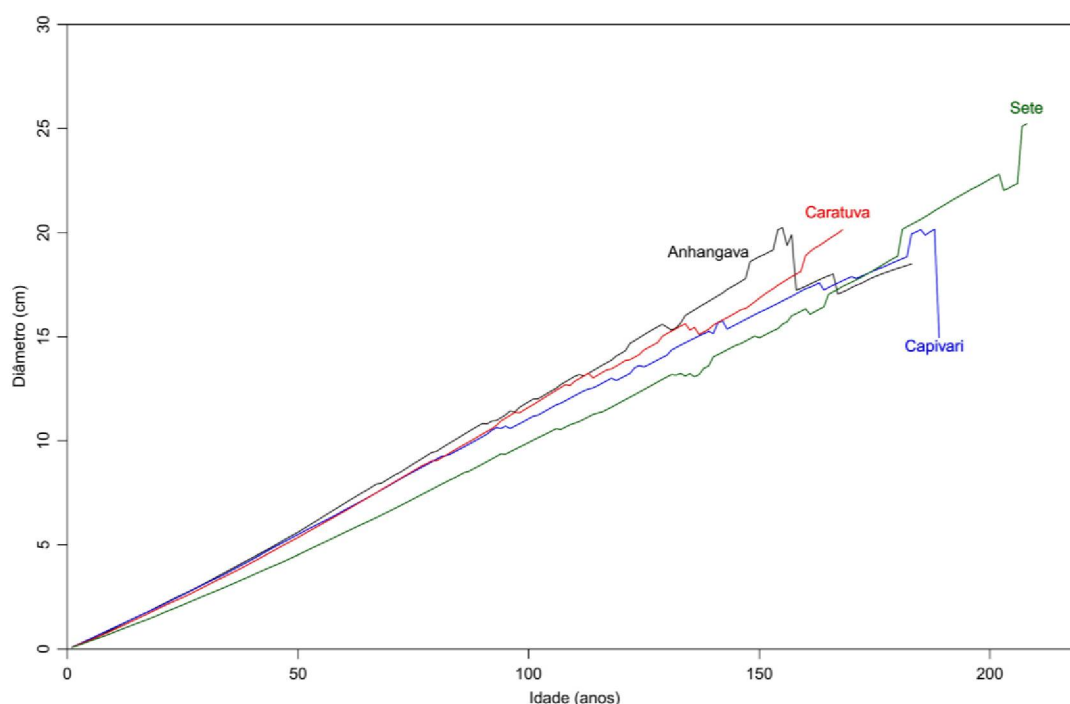
Esses valores refletem a média do universo amostral nesses locais, diferentemente de quando são analisados os valores de árvores individuais, nas suas trajetórias de crescimento (FIGURA 27). Em todos os sítios é notável um aumento da amplitude dos dados de idades à medida que os diâmetros aumentam, com uma leve tendência no crescimento anual, sem evidências de atingirem a assíntota. As variações nas idades mais avançadas correspondem aos valores médios de acordo com o número de árvores disponíveis para determinada idade, como é possível observar na FIGURA 28. O crescimento acumulado foi menor no sítio Sete comparado nos demais sítios, nas idades iniciais, porém sem diferença estatística significativa (p-valor > 0,05).

FIGURA 27 – CURVAS DE INCREMENTO ACUMULADO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS, NOS QUATRO SÍTIOS DE ESTUDO.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 28 – CURVAS MÉDIAS DE INCREMENTO ACUMULADO DAS ÁRVORES DE *I. microdonta* EM CADA UM DOS SÍTIOS AVALIADOS.



FONTE: O autor (2019).

4.3.2 Modelos alométricos

Em todos os sítios os modelos de diâmetro vs idade apresentaram altas correlações entre as variáveis ($r \geq 0,70$). A partir dos dados de incremento periódico anual, dentre os modelos desenvolvidos para os sítios (TABELA 8), o que apresentou melhor desempenho frente aos dados foi o modelo de Weibull (FIGURA 29 a FIGURA 32). Embora no sítio AN as estatísticas mostrem o que o modelo Logístico foi o de melhor ajuste, o gráfico de distribuição de resíduos mostra uma clara superestimativa dos dados nos primeiros 5 cm, o que inviabiliza a utilização do modelo para esses diâmetros iniciais (ANEXO 5). Este modelo e os demais têm seus gráficos de distribuição de resíduos e de modelagem nos ANEXOS 5 a 8.

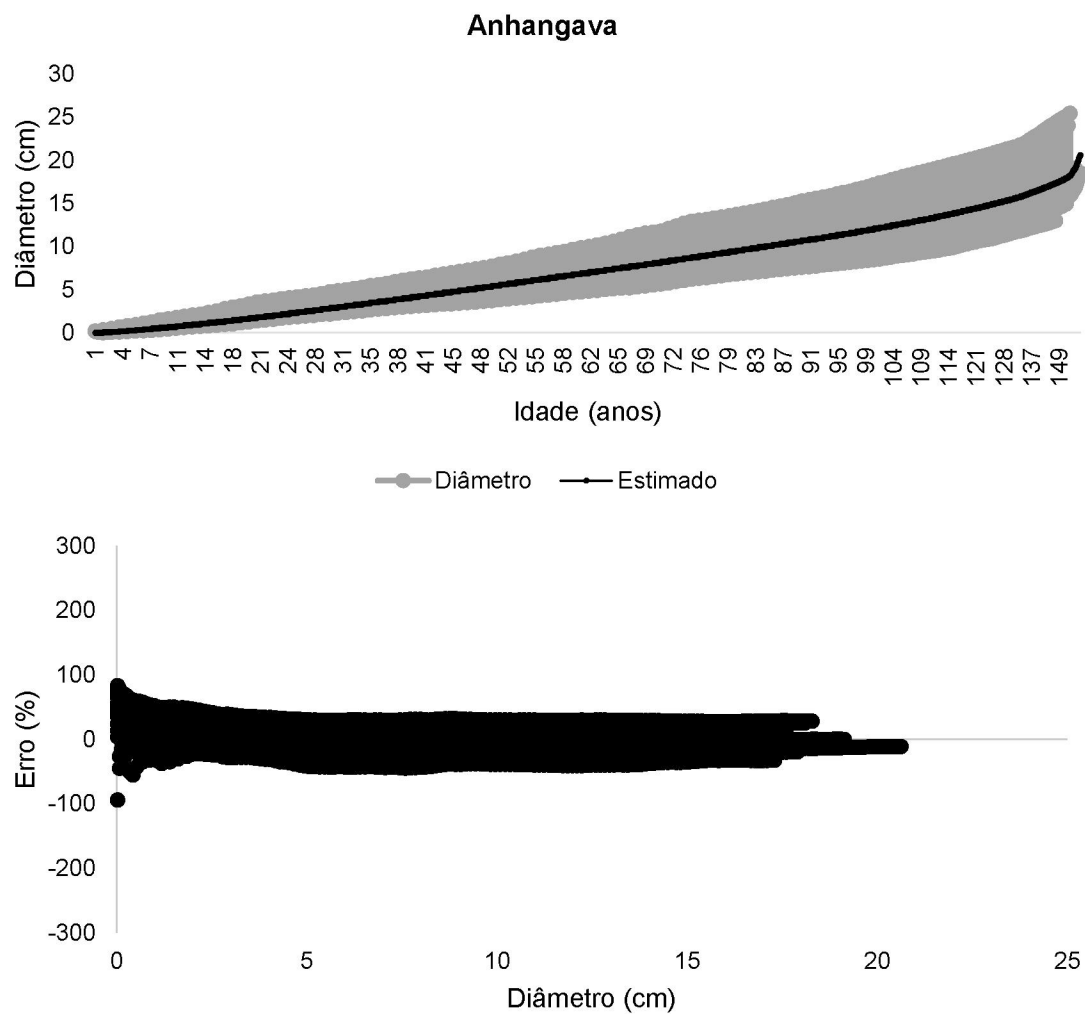
TABELA 8 - RESULTADOS DA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS EM CADA UM DOS SÍTIOS.

Sítio	Modelo	a	b	c	Syx%	IA	AIC	AICw
AN	Chapman-Richards	36.045	0.006	1.424	101.470	0.821	751.117	0.143
	Gompertz	27.814	2.904	0.012	101.398	0.821	750.856	0.162
	Bertalanffy	21.542	0.018	-	102.314	0.818	752.151	0.085
	Weibull	31.210	0.001	1.329	101.457	0.821	751.072	0.146
	Logístico	23.552	8.386	0.022	101.312	0.821	750.546	0.190
	Korf	237.947	14.362	0.341	101.506	0.820	751.248	0.134
	GOL	48.406	225.694	1.365	101.475	0.820	751.137	0.141
CP	Chapman-Richards	137.832	0.001	0.733	101.270	0.887	780.627	0.152
	Gompertz	21.604	3.135	0.016	102.455	0.884	785.025	0.017
	Bertalanffy	17.755	0.021	-	113.018	0.859	820.115	0.000
	Weibull	39.276	0.002	1.138	100.916	0.888	779.305	0.293
	Logístico	18.484	11.484	0.029	105.697	0.877	796.800	0.000
	Korf	2504.437	12.043	0.174	101.013	0.888	779.667	0.245
	GOL	65.205	393.377	1.153	100.916	0.888	779.306	0.293
CR	Chapman-Richards	212.994	0.001	1.095	101.386	0.901	665.227	0.248
	Gompertz	21.702	3.342	0.017	102.347	0.899	669.086	0.036
	Bertalanffy	17.545	0.021	-	112.421	0.878	700.629	0.000
	Weibull	45.640	0.001	1.197	101.171	0.901	665.202	0.251
	Logístico	17.763	13.393	0.033	105.448	0.893	679.115	0.000
	Korf	100300.715	15.293	0.113	101.260	0.901	665.497	0.216
	GOL	79.083	433.945	1.206	101.175	0.901	665.216	0.249
SE	Chapman-Richards	13619.016	0.000	1.115	82.083	0.934	743.389	0.250
	Gompertz	28.942	3.359	0.011	85.863	0.928	762.116	0.000
	Bertalanffy	19.919	0.017	-	102.807	0.897	835.039	0.000
	Weibull	51.595	0.001	1.247	82.082	0.934	743.383	0.251
	Logístico	22.093	13.686	0.024	91.262	0.919	787.488	0.000
	Korf	3370237.448	19.000	0.087	82.670	0.933	746.353	0.057
	GOL	2166.666	12474.448	1.117	82.088	0.934	743.503	0.236

FONTE: O autor (2019).

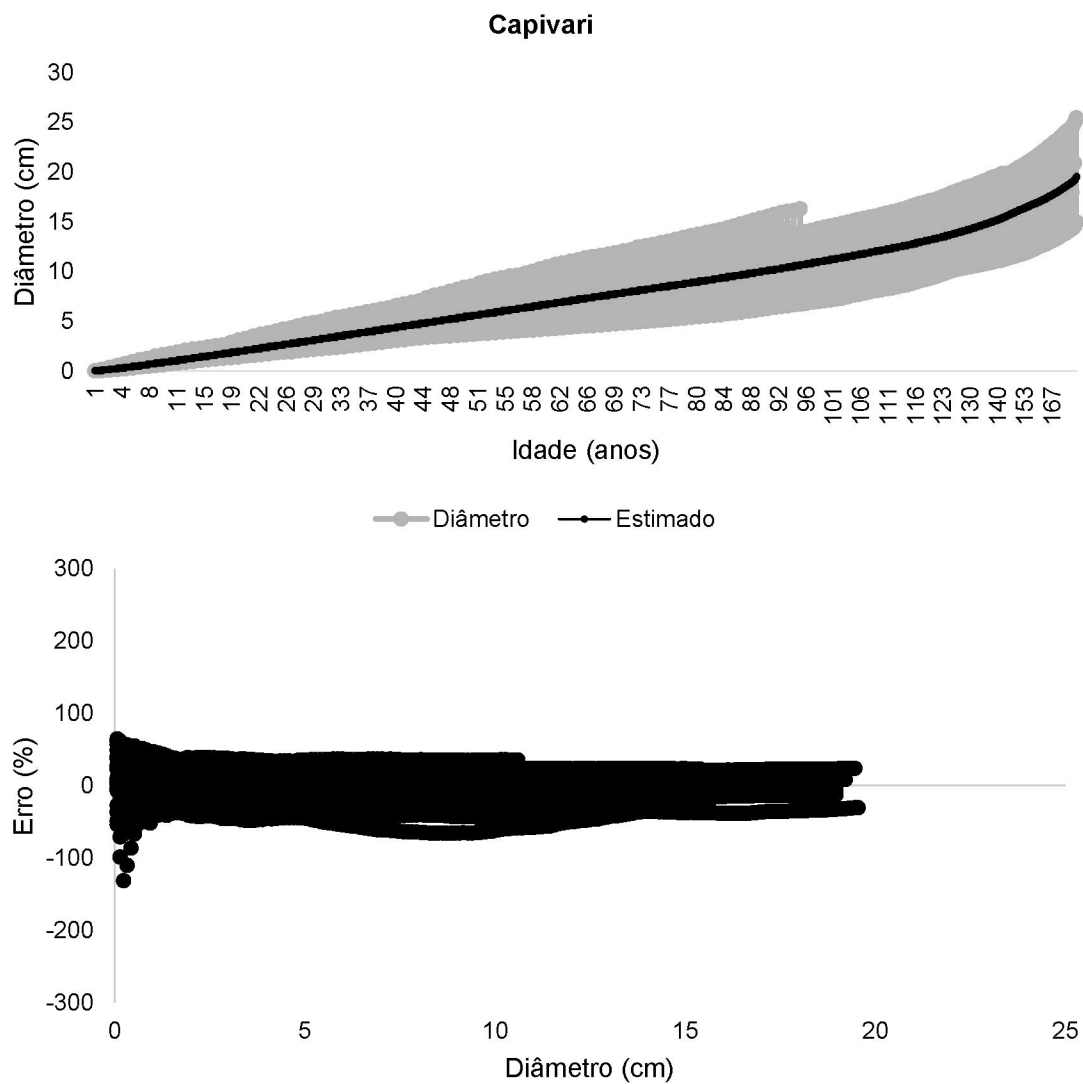
Em todos os sítios o modelo de Weibull subestima os diâmetros nas idades iniciais, que rapidamente se ajustam melhor à equação à medida que os anos avançam (FIGURA 29 a FIGURA 32). Nos modelos de Bertalanffy e Logístico, em todos os sítios o principal fator de exclusão é justamente a forte subestimativa dos valores de diâmetro nos anos iniciais, em que a tendência da distribuição dos resíduos é danificada pelo mau ajuste das equações nesses períodos (ANEXO 1 a 4).

FIGURA 29 - MODELO DE WEIBULL DE DIÂMETRO VS IDADE DESENVOLVIDO, E SEU RESPECTIVO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS, PARA O SÍTIO ANHANGAVA.



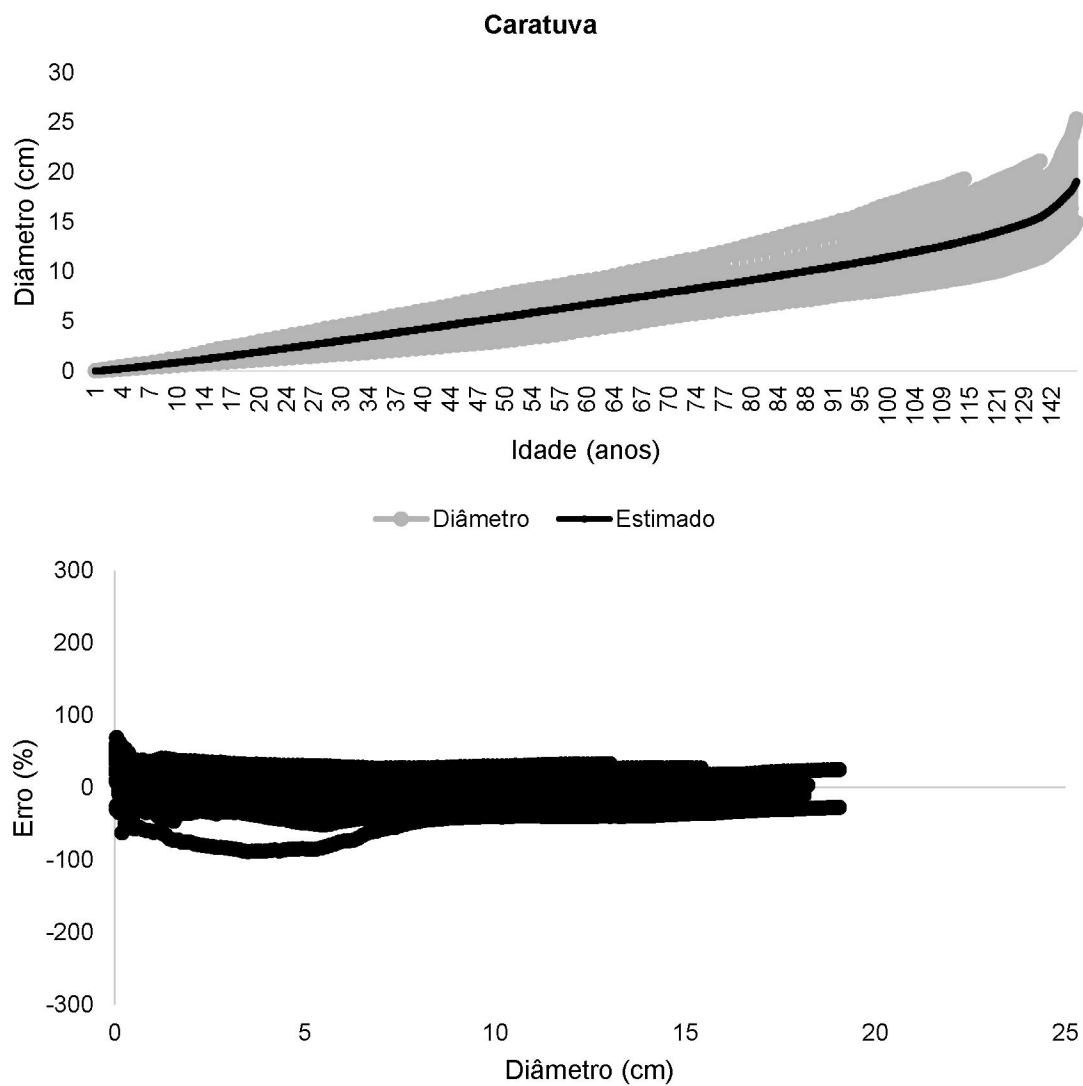
FONTE: O autor (2019).

FIGURA 30 - MODELO DE WEIBULL DE DIÂMETRO VS IDADE DESENVOLVIDO, E SEU RESPECTIVO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS, PARA O SÍTIO CAPIVARI.



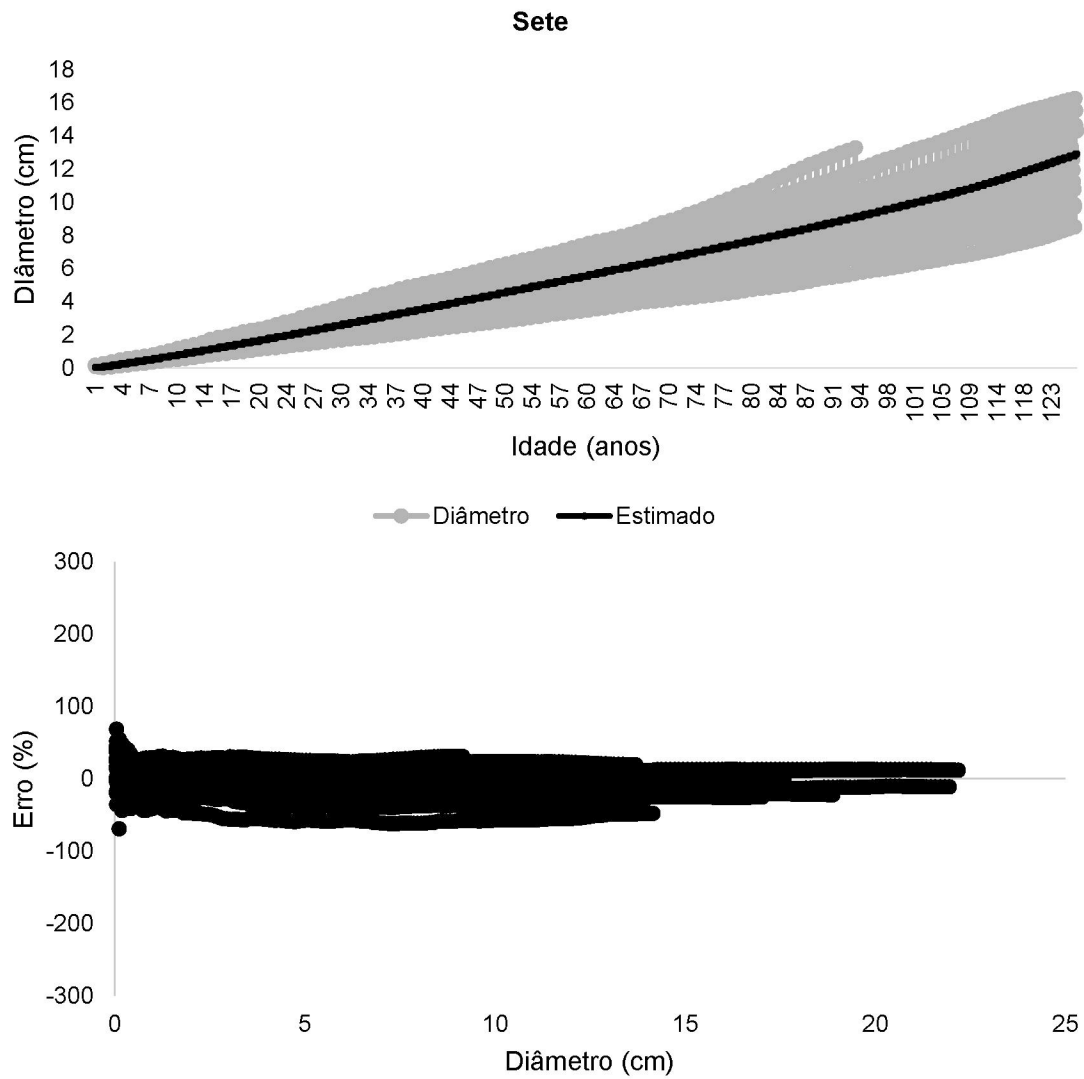
FONTE: O autor (2019).

FIGURA 31 - MODELO DE WEIBULL DE DIÂMETRO VS IDADE DESENVOLVIDO, E SEU RESPECTIVO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS, PARA O SÍTIO CARATUVA.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 32 - MODELO DE WEIBULL DE DIÂMETRO VS IDADE DESENVOLVIDO, E SEU RESPECTIVO GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS, PARA O SÍTIO SETE.



FONTE: O autor (2019).

4.4 DISCUSSÃO

Os valores observados, tanto para os diâmetros quanto para as alturas, corroboram os resultados para *Ilex microdonta* em diversos levantamentos fitossociológicos realizados nesses ambientes no estado do Paraná (RODERJAN, 1994; PORTES et al., 2001; KOEHLER et al., 2002; SCHEER, 2010; SCHEER; MOCOCHINSKI; et al., 2011; VIEIRA et al., 2014; VIEIRA, 2016). Além disso, os diâmetros médios em cada sítio não diferiram significativamente entre si, indicando uma certa homogeneidade em termos diamétricos, nas diferentes montanhas da Serra do Mar.

As alturas diferiram entre si ($p > 0,05$), e um dos fatores que pode explicar essa variação diz respeito à forma das rampas (do tipo vertentes) dentro das florestas altomontanas. Assim como os indivíduos amostrados nesse estudo, os localizados sobre rampas divergentes apresentam uma altura média entre 4 e 6 m, situações as quais há uma predominância de *Ilex microdonta* sobre as demais espécies dessas comunidades, enquanto que em rampas convergentes as árvores podem alcançar valores maiores que 8 m (VIEIRA, 2016). Ainda, uma maior ou menor competição, condições microclimáticas, de luminosidade e também de substrato podem justificar tais variações.

As taxas de incremento periódico anual em diâmetro encontradas nas TCMFs paranaenses mostram que o crescimento é bastante reduzido quando comparado a avaliações de incremento em patamares altitudinais menores, dentro da floresta Atlântica (CARDOSO et al., 2012; COSTA et al., 2015; SHIMAMOTO et al., 2015). Entretanto, é similar quando comparado com outras TCMFs em menores latitudes (WEAVER et al., 1986).

O incremento diamétrico nesses ambientes é resultado de uma série de fatores restritivos ao desenvolvimento vegetal, como baixas temperaturas, ventos fortes e constantes, elevada nebulosidade (baixa incidência de luz), solos rasos e de baixa fertilidade (RODERJAN et al., 2002). As variáveis climáticas exercem forte influência sobre os processos fisiológicos das plantas em ambientes de altitude e, para a floresta Atlântica, as temperaturas e o fotoperíodo parecem ser os fatores preponderantes para o crescimento das árvores, (SHIMAMOTO et al., 2015), em detrimento da precipitação (vide Capítulo 1 desta tese), uma vez que esta variável não é um fator limitante ao crescimento nessa região.

As trajetórias de crescimento, associadas ao tempo de passagem entre as classes diamétricas mostram indivíduos com idades avançadas, na maior parte dos casos, mas que ainda não atingiram a assíntota, conforme verificado nas curvas de crescimento acumulado. Isso pode indicar que a população de *I. microdonta* ainda permanece em pleno crescimento, dando um indicativo de que essas florestas ainda podem alcançar idades mais avançadas (CAMPOS; LEITE, 2006).

De qualquer forma, as idades das árvores aqui encontradas são muito superiores às encontradas em outras sinúsias da floresta Atlântica (ANDREACCI, 2012; SHIMAMOTO, 2012), embora não atinjam ainda os valores de outras formações fitoecológicas no Paraná (ADENESKY-FILHO, 2014; LONGHI-SANTOS, 2017). Ainda que a comparação deva levar em consideração as espécies e condições de crescimento distintas, este trabalho, assim como Miranda (2015) configuram como os pioneiros na determinação de idades de espécies altomontanas, para as TMCFs paranaenses, inclusive, com o indivíduo mais longevo já encontrado para *I. microdonta*, com uma estimativa de 208 anos.

Dentre os modelos utilizados para ajustar a relação entre os diâmetros e as idades estimadas, o modelo de Weibull foi o que apresentou o melhor ajuste, com base nos critérios previamente citados (distribuição dos resíduos, Syx%, IA, AIC e AICw). Este modelo de produção é amplamente difundido no meio florestal, (NASCIMENTO et al., 2012), embora os demais tenham também grande aplicabilidade (VANCLAY, 1994).

Ao avaliar os modelos de produção para *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* e, utilizando dos mesmos parâmetros de escolha dos modelos, Stepka (2012) encontrou nas funções de Chapman-Richards e Logística os melhores valores dos parâmetros de Syx% (~ 30%) e R² ajustado (> 0,70), modelos considerados piores neste trabalho. Cabe ressaltar que esse autor utilizou diferentes espécies, com comportamentos de crescimento distintos aos de *I. microdonta*, uma vez que são espécies típicas da Floresta Ombrófila Mista (RODERJAN et al., 2002).

As estatísticas de ajuste do modelo apresentaram valores satisfatórios para o Índice de Schlaegel (IA>0,8) (RODRIGUES, 2016), mas também valores bastante elevados de Syx% (100% em média), quando comparados a estudos de modelagem em povoamentos florestais (MAESTRI et al., 2003; SILVA, 2016), em que essa estatística atinge patamares máximos de 20%. Em modelos desenvolvidos para florestas naturais, inequiduais, são aceitos valores de Syx% acima de 20%, podendo

alcançar patamares de pelo menos o dobro das médias desta pesquisa (SANQUETTA et al., 2010, 2016; RODRIGUES, 2016). Características ontogenéticas das árvores, índices de competição, qualidade de sítio e a própria heterogeneidade dos ambientes podem justificar em parte a grande variação dos dados (BRIENEN et al., 2006; SCOLFORO et al., 2017).

Ao analisar os valores de ajuste das equações por sítio, nota-se que o sítio Anhangava obteve valores abaixo dos observados para os demais. Isso em parte pode ser explicado por uma possível alteração das condições naturais do ambiente ao longo do tempo, em que pese este seja o sítio onde é mais provável terem ocorrido modificações na floresta ao longo dos anos, devido às ameaças antrópicas nos ambientes montanos deste sítio (IAP, 2017). O tempo de passagem de classe diamétrica também foi mais variável nesse sítio (FIGURA 26; $R^2=0,62$), comparado aos demais sítios.

A dinâmica das comunidades altomontanas está atrelada muito mais em função das variações climáticas do que pelo próprio substrato (FAHEY et al., 2016), e a neblina é o fator chave para que as alterações se deem em maior ou menor expressão nesses ambientes (BRUIJNZEEL; VENEKLAAS, 1998; BRUIJNZEEL, 2001). Possivelmente a abertura de clareiras nas florestas altomontanas no Anhangava, embora tese não evidenciada ou comprovada, tenha alterado as condições locais do crescimento das árvores, e modificado a distribuição dos diâmetros médios das espécies e, conseqüentemente, a relação diâmetro vs idade. A abertura de clareiras geralmente aumenta a saturação solar, e a resposta das plantas a esses eventos é diferenciada conforme seu grupo ecológico (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006).

Ainda que a incidência de luz solar possa ter alterado de alguma forma a dinâmica, a constante presença de neblina certamente dificulta a absorção desta energia (FAHEY et al., 2016), e o reflexo disso mais uma vez se dá sobre os incrementos periódicos das árvores, que são reduzidos e podem ter expressado as variações encontradas para o sítio Anhangava. Os demais sítios, conforme seu histórico, não reportam maiores alterações ambientais nos ambientes altomontanos e, portanto, refletem uma melhor relação de ajuste das curvas de diâmetro vs idade, que representam uma boa estimativa da predição dessas variáveis.

4.5 CONCLUSÕES

Os valores observados para os diâmetros médios e as alturas totais das árvores amostradas de *I. microdonta* ficaram dentro da margem esperada para as florestas altomontanas do Paraná, evidenciando uma população bastante homogênea em parâmetros biométricos, tanto por sítio quanto no geral.

As taxas médias de crescimento foram significativamente distintas entre os sítios ($p\text{-valor} < 0,01$), com destaque para os maiores valores encontrados no Caratuva, e os menores, no Sete. Em relação às idades, não houve diferenças significativas entre os sítios ($p\text{-valor} = 0,11$). Foi possível identificar, no sítio Sete, até o momento, o indivíduo mais longo já registrado para as florestas altomontanas no Paraná, com 208 anos.

Foi possível modelar o crescimento dos diâmetros em função da idade dos indivíduos, em que a função de Weibull foi a que apresentou as melhores estatísticas de ajuste, ainda que se verifique um valor de erro padrão da estimativa (percentual), consideravelmente alto. Dentre os sítios, o Sete se sobressaiu com os melhores valores do Índice de Schlaegel, correspondente ao R^2 ajustado ($IA=0,9342$).

De acordo com as curvas de crescimento acumulado das árvores, quase todos os indivíduos permanecem em crescimento, sem ainda atingir valores assintóticos (correspondentes ao que seria o diâmetro máximo a ser alcançado), corroborando os modelos de produção ajustados.

Cabe ressaltar que possivelmente outras espécies dessas comunidades tenham um comportamento distinto em relação ao crescimento, devendo ser melhor investigado para poder entender se as condições ambientais atingem as espécies de igual forma, e até mesmo de que modo se dá esse crescimento comparativamente, bem como encontrar indivíduos que possam alcançar idades mais avançadas do que as encontradas por esse trabalho.

REFERÊNCIAS

ADENESKY-FILHO, E. **Florística, fitossociologia e dendroecologia em encosta e planície do médio rio Tibagi, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil**. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

AIBA, S.; KITAYAMA, K. Structure, composition and species diversity in an altitude-substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. **Plant Ecology**, v. 140, n. 2, p. 139–157, 1999.

ANDREACCI, F. **Atividade cambial, fenologia vegetativa e ritmo de crescimento de Cedrela fissilis Vell. em áreas de florestas ombrófilas mista e densa do estado do Paraná: aspectos dendrocronológicos e dendroecológicos**. 56 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BERTALANFFY, L. V. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, v. 32, n. 3, p. 217–231, 1957.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: A test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, v. 146, n. 1, p. 1–12, 2005.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 2, p. 481–493, 2006.

BRIENEN, R. J. W. et al. Autocorrelated growth of tropical forest trees: Unraveling patterns and quantifying consequences. **Forest Ecology and Management**, v. 237, n. 1–3, p. 179–190, 2006.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of tropical montane cloud forests: A Reassessment. **Land Use and Water Resources Research**, v. 1, n. 1, p. 1–18, 2001.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 104, n. 1, p. 185–228, 2004.

BRUIJNZEEL, L. A. et al. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: Emerging patterns. **Hydrological Processes**, v. 25, n. 1, p. 465–498, 2011.

BRUIJNZEEL, L. A.; VENEKLAAS, E. J. Climatic Conditions and Tropical Montane Forest Productivity : The Fog Has Not Lifted Yet. **Ecology**, v. 79, n. 1, p. 3–9, 1998.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. New York: Springer US, 2012.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006.

CARDOSO, F. C. G. et al. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1–2, p. 269–281, 2012.

COSTA, M. S. et al. Growth analysis of five Leguminosae native tree species from a seasonal semideciduous lowland forest in Brazil. **Dendrochronologia**, v. 36, p. 23–32, 2015.

DUNCAN, R. P. An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in Kahikatea (*Dacrycarpus dacrydioides*). **New Zealand Natural Sciences**, v. 16, p. 31–37, 1989.

ELLER, C. B. **The effects of environmental changes on water and carbon relations of cloud forest trees**. 102 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

FAHEY, T. J. et al. Tropical montane cloud forest: Environmental drivers of vegetation structure and ecosystem function. **Journal of Tropical Ecology**, v. 32, n. 5, p. 355–367, 2016.

FRITTS, H. C. **Tree Rings and Climate**. Caldwell: The Blackburn Press, 1976.

GIRARDIN, C. A. J. et al. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. **Global Change Biology**, v. 16, n. 12, p. 3176–3192, 2010.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 182, p. 513–585, 1825.

HAMILTON, L. S. et al. **Tropical Montane Cloud Forests**. New York: Springer-Verlag, 1995.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Baitaca**. Curitiba: SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 2017.

KOEHLER, A. et al. Floresta Ombrófila Densa Altomontana: aspectos florísticos e estruturais de diferentes trechos na Serra do Mar, PR. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 27–39, 2002.

KORF, V. Příspěvek k matematické definici vzrůstového zákona lesních porostů. **Lesnická práce**, v. 18, p. 339–356, 1939.

KOYA, P. R.; GOSHU, A. T. Generalized Mathematical Model for Biological Growths. **Open Journal of Modelling and Simulation**, v. 01, n. 04, p. 42–53, 2013.

LISI, C. S. et al. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. **IAWA Journal**, v. 29, n. 2, p. 189–207, 2008.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Aspidosperma polyneuron* Müll . Arg . em duas condições geomorfológicas no sul do Brasil**. 110 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3 ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MAESTRI, R. et al. Modelagem do crescimento de povoamentos de *Eucalyptus grandis* através de processos de difusão. **Floresta**, v. 33, n. 2, p. 169–182, 2003.

MIRANDA, B. P. **Dendroecologia de *Ilex microdonta* Reissek E *Drimys brasiliensis* Miers em dois ambientes altomontanos da Serra do Mar, Paraná, Brasil**. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

NASCIMENTO, R. G. M. et al. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 93–103, 2012.

NASCIMENTO, R. G. M. et al. Modelagem da sobrevivência, mortalidade e recrutamento de uma floresta na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 319–330, 2013.

NELDER, J. A. The Fitting of a Generalization of the Logistic Curve. **Biometrics**, v. 17, n. 1, p. 89–110, 1961.

PORTES, M. C. G. de O. et al. Caracterização florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro do Anhangava, Quatro Barras–PR. **Floresta**, v. 31, n. 2, p. 1–10, 2001.

RICHARDS, F. J. A flexible growth model for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v. 10, n. 29, p. 290–301, 1959.

RODERJAN, C. V. **O gradiente da Floresta Ombrófila Densa no Morro Anhangava, Quatro Barras, PR - Aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos**. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

RODERJAN, C. V. et al. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência&Ambiente**, v. 1, n. 24, p. 1–12, 2002.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista**. 151 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SANQUETTA, C. R. et al. Modelos biológicos de crescimento em diâmetro para aroeira. **Enciclopédia Bioesfera**, v. 13, n. 23, p. 812–821, 2016.

SANQUETTA, C. R. et al. Equações individuais e determinação de classes de crescimento para *Nectandra grandiflora* Nees a partir de dados de análise de tronco. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 1, p. 1–8, 2010.

SANTOS, L. et al. Idade relativa e tempo de passagem para *Eremanthus incanus* (Less.) Less em uma área em recuperação no município de Diamantina, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1–10, 2017.

SCHEER, M. B. **Ambientes altomontanos no Paraná: florística vascular, estrutura arbórea, relações pedológicas e datações por 14C**. 153 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SCHEER, M. B. et al. Estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de serras do Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 4, p. 735–750, 2011.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1–2, p. 46–58, 2008.

SCOLFORO, H. F. et al. A new model of tropical tree diameter growth rate and its application to identify fast-growing native tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 578–586, 2017.

SHIMAMOTO, C. Y. **Estimativa do crescimento e acúmulo de biomassa em espécies arbóreas, como subsídio a projetos de restauração da Mata Atlântica**. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SHIMAMOTO, C. Y. et al. Stem growth rhythms in trees of a tropical rainforest in Southern Brazil. **Trees**, v. 30, n. 1, p. 99–111, 2015.

SILVA, M. O. **Modelagem do crescimento para plantios de eucalipto no norte de Minas Gerais, Brasil**. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

STADTMÜLLER, T. **Cloud Forests in the Humid Tropics: A Bibliographic Review**. Tokio: The United Nations University Press, 1987.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

STILL, C. J. et al. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. **Nature**, v. 398, n. 6728, p. 608, 1999.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**. Wallingford: CAB International, 1994.

VIEIRA, R. S. **Influência de feições geomórficas sobre os padrões pedológicos, florísticos e estruturais de florestas altomontanas na Serra do Mar do Paraná – Brasil**. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

VIEIRA, R. S. et al. Floresta Ombrófila Densa Altomontana na Serra do Capivari, Campina Grande do Sul , Paraná. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 565–576, 2014.

WEAVER, P. L. et al. Ecological observations in the dwarf cloud forest of the Luquillo mountains in Puerto Rico. **Biotropica**, v. 18, n. 1, p. 79–85, 1986.

WHITMORE, T. C. W. Tropical forest nutrients, where do we stand? A tour de horizon. In: PROCTOR, J. (Ed.). **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific Press, 1989. p. 1–13.

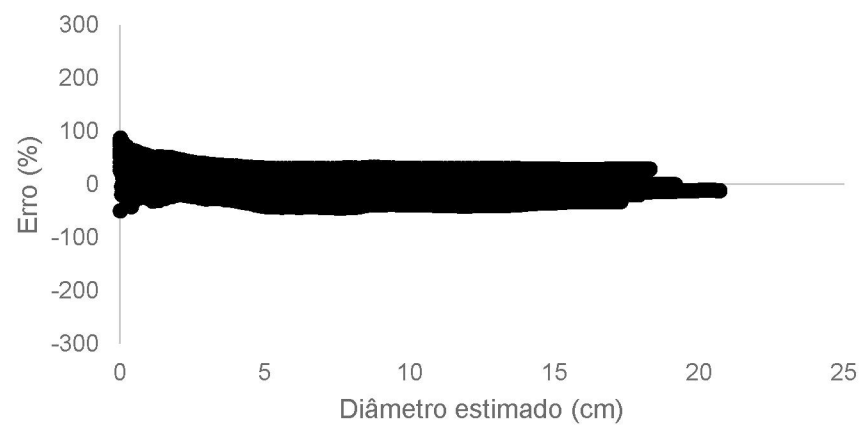
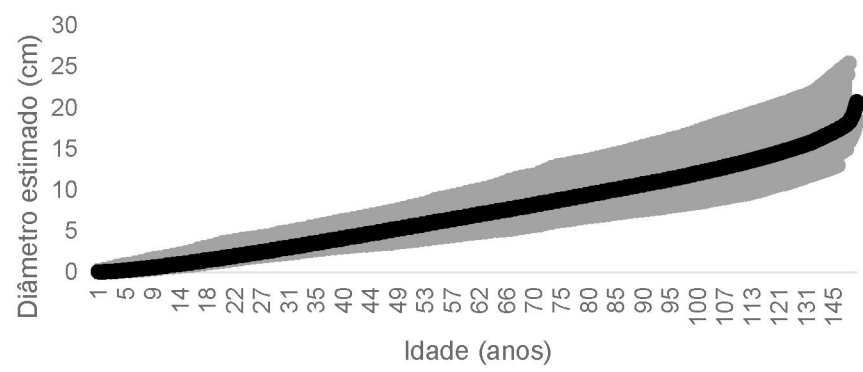
WORBES, M. How to measure growth dynamics in Tropical Trees. **IAWA Journal**, v. 16, n. 4, p. 337–351, 1995.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 87, n. 3, p. 391–403, 1999.

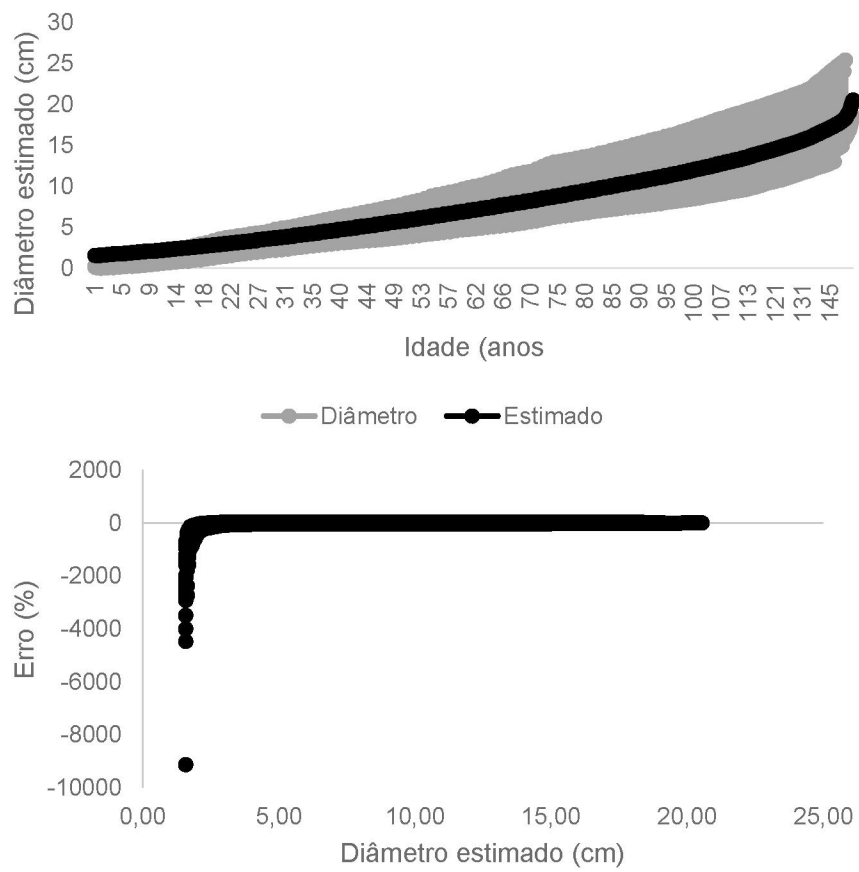
ANEXO 5

**CURVAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA O SÍTIO
ANHANGAVA**

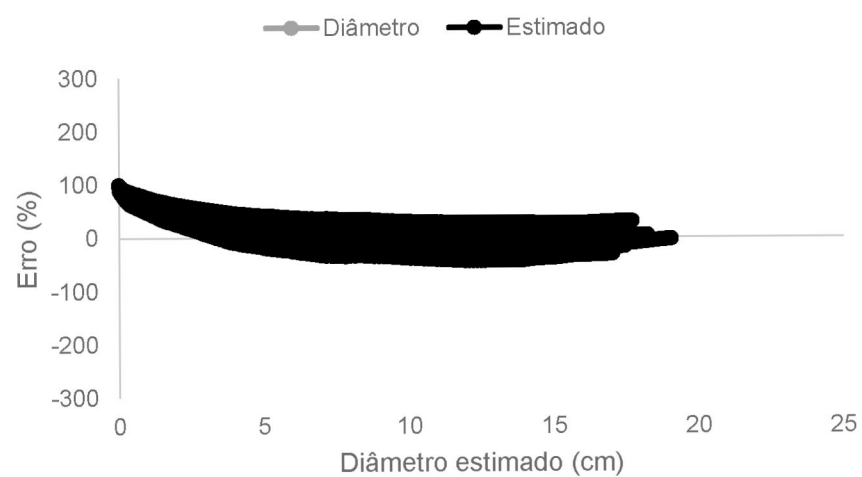
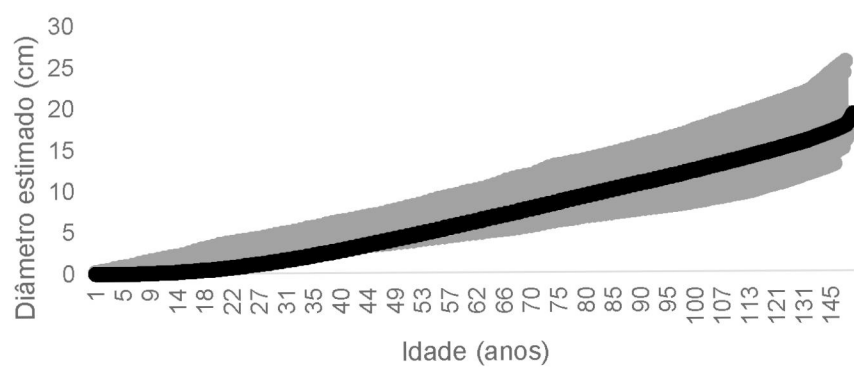
CHAPMAN-RICHARDS



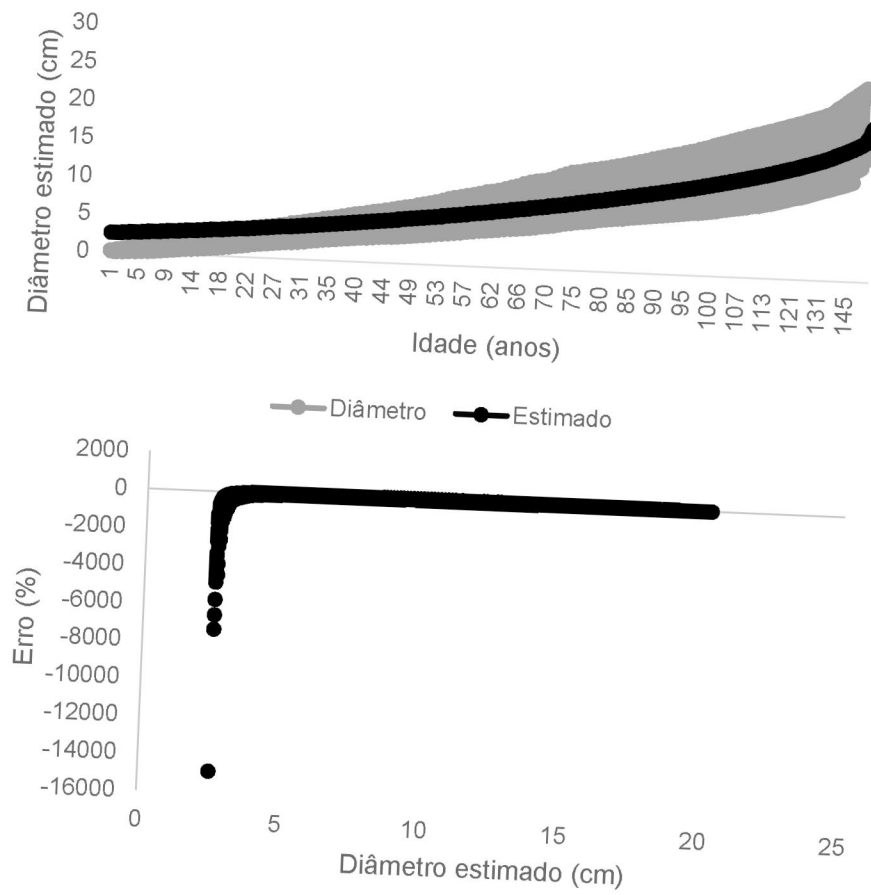
GOMPERTZ



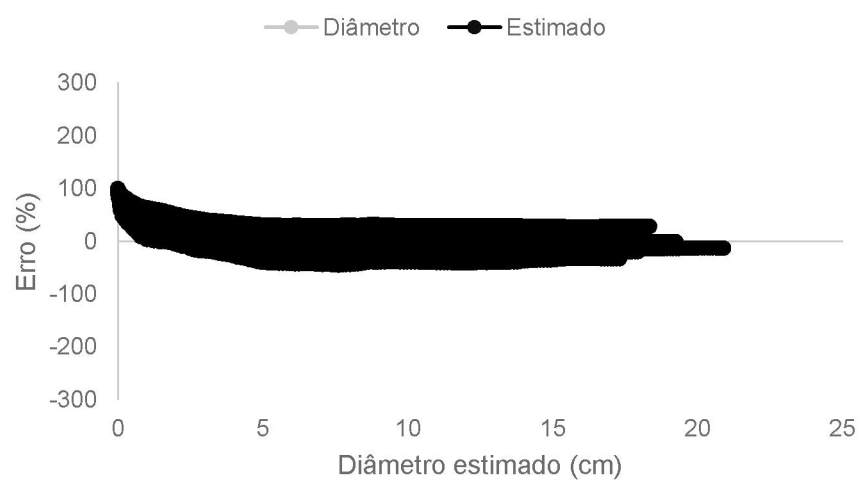
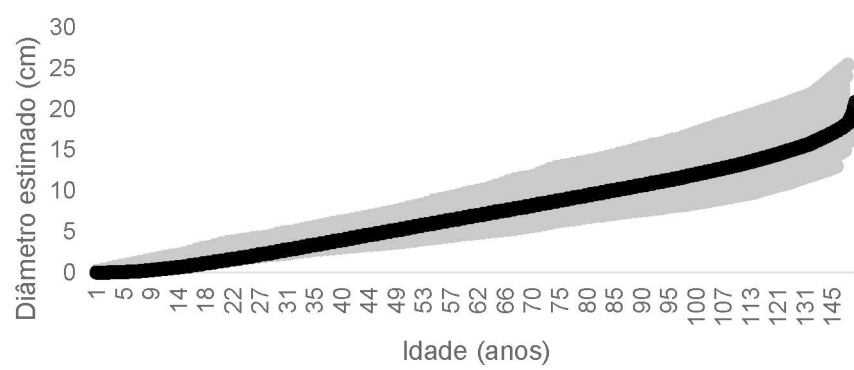
BERTALANFFY



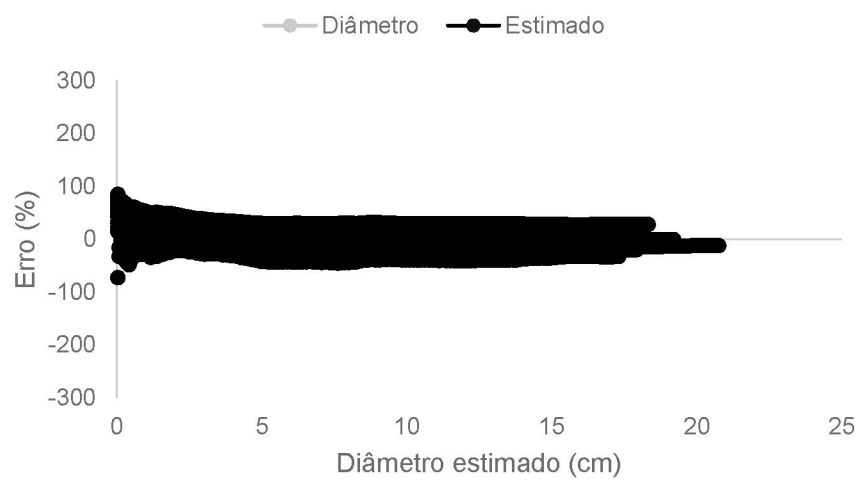
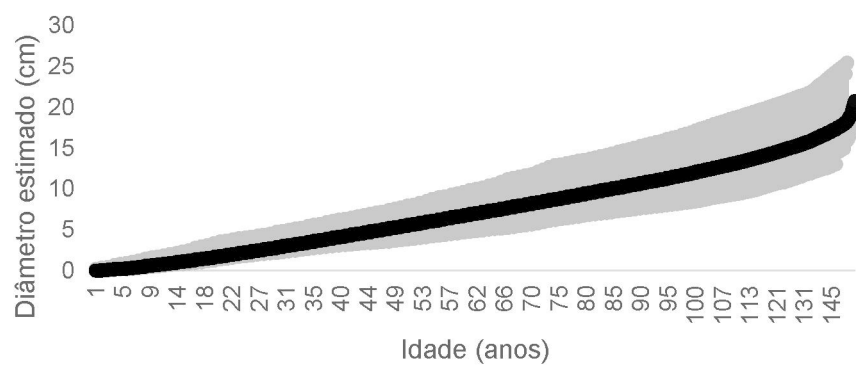
LOGÍSTICO



KORF



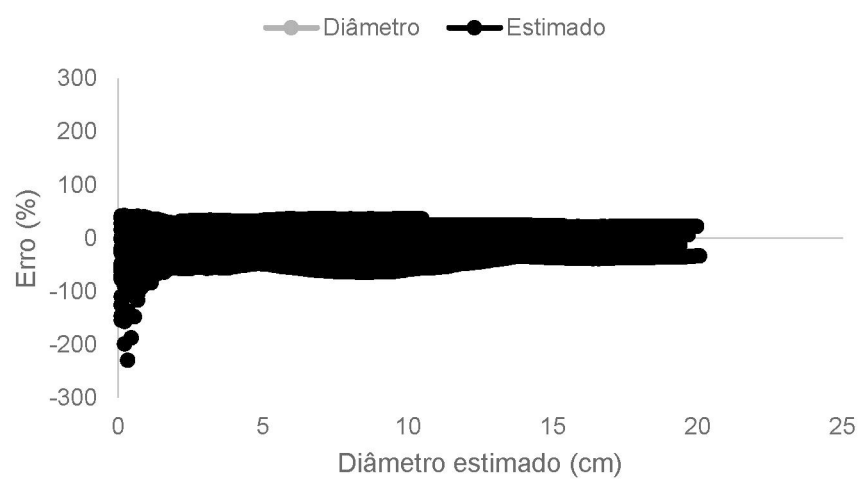
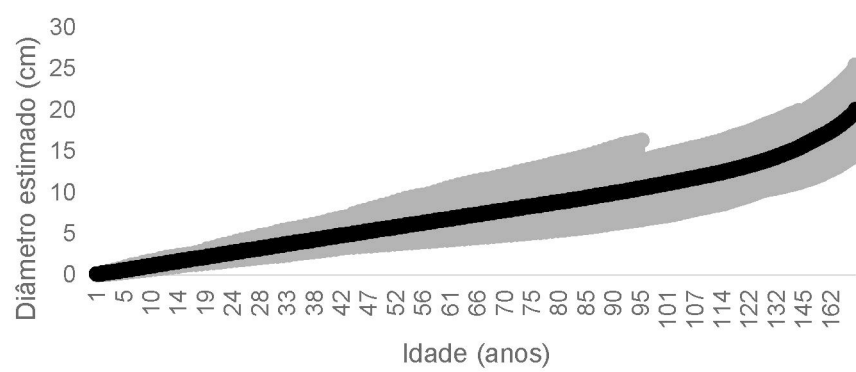
GOL



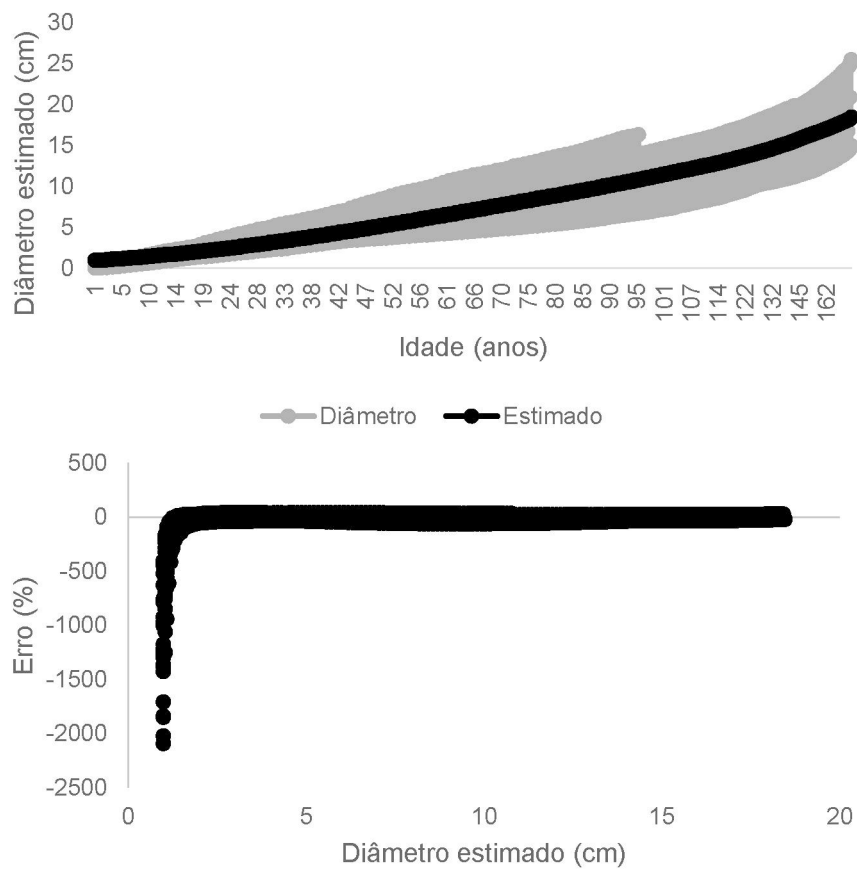
ANEXO 6

CURVAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA O SÍTIO
CAPIVARI

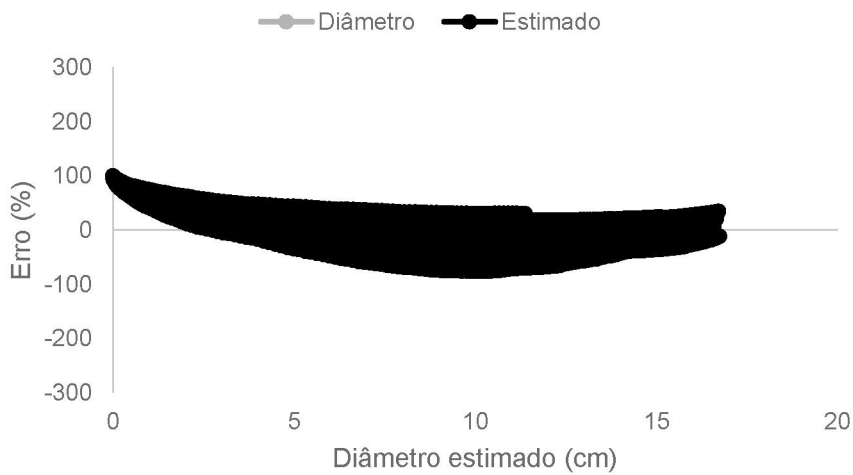
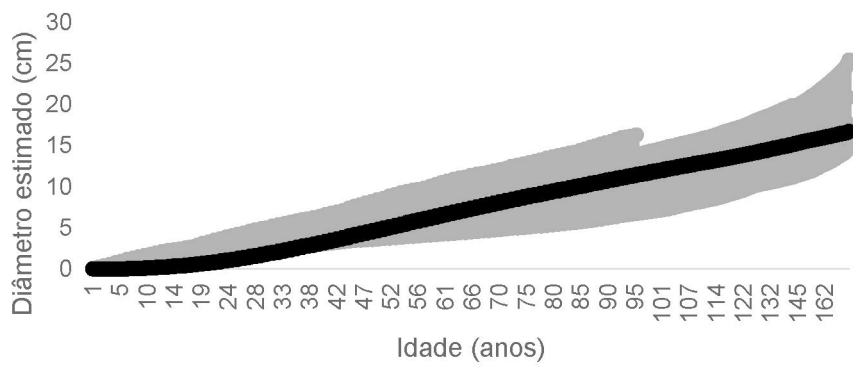
CHAPMAN-RICHARDS



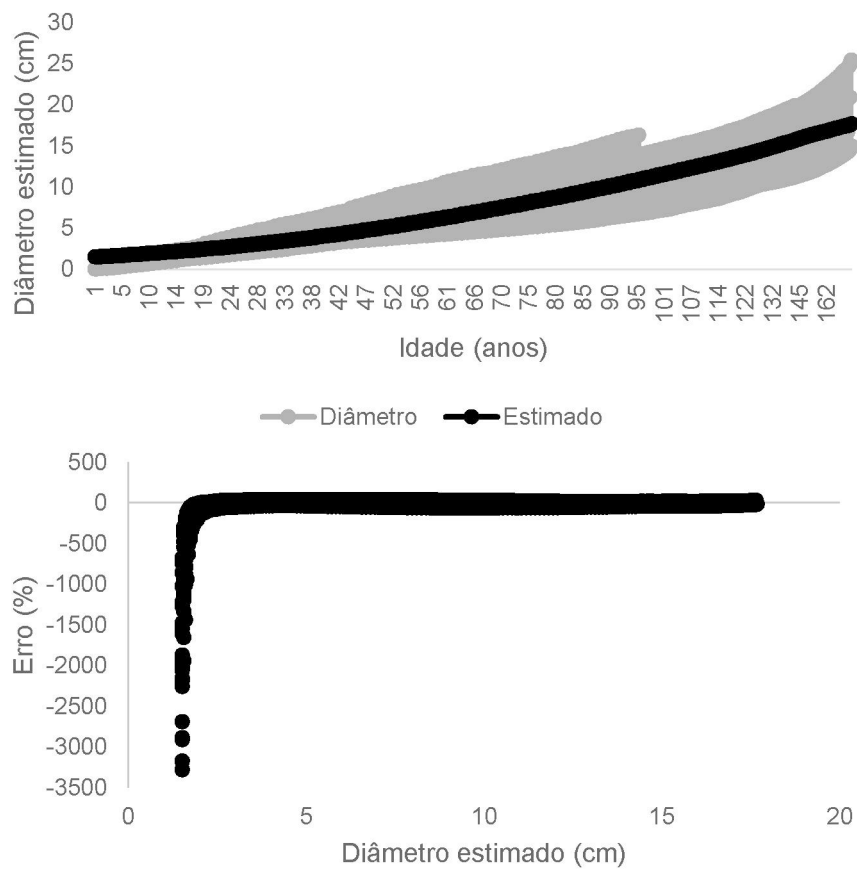
GOMPERTZ



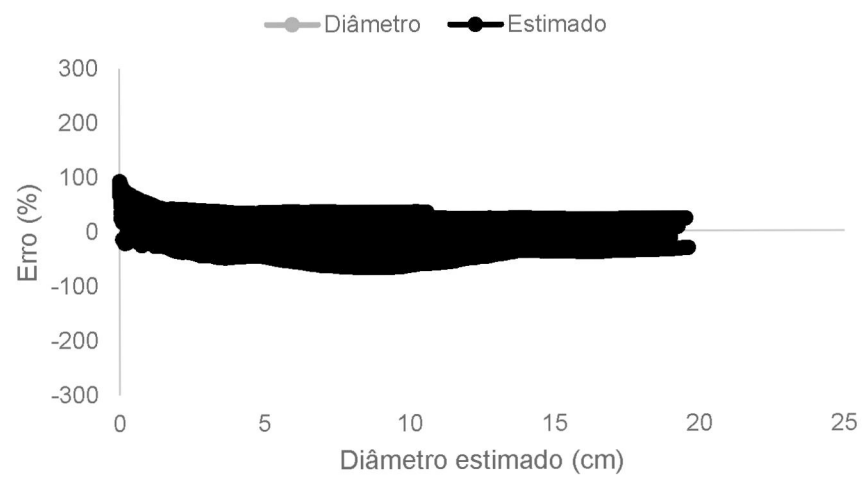
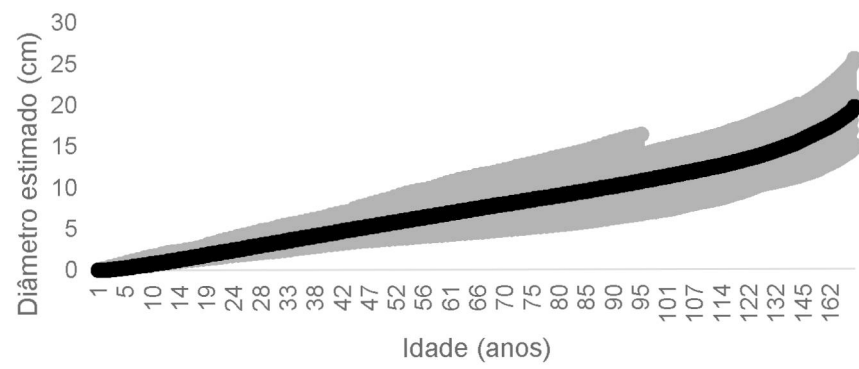
BERTALANFFY

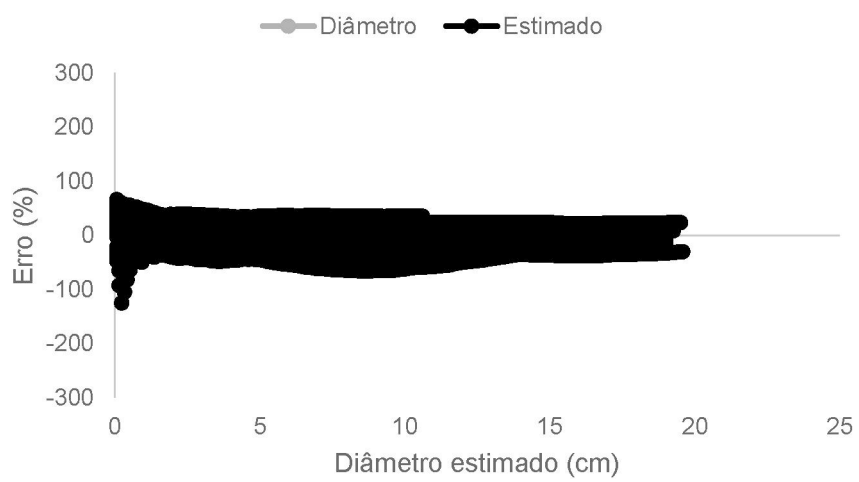
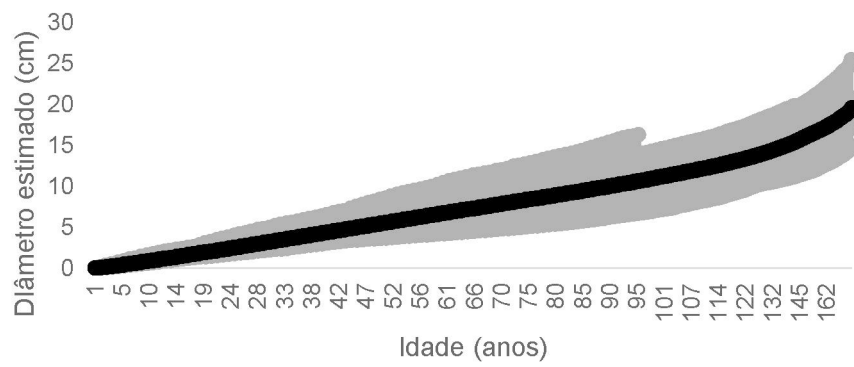


LOGÍSTICO



KORF

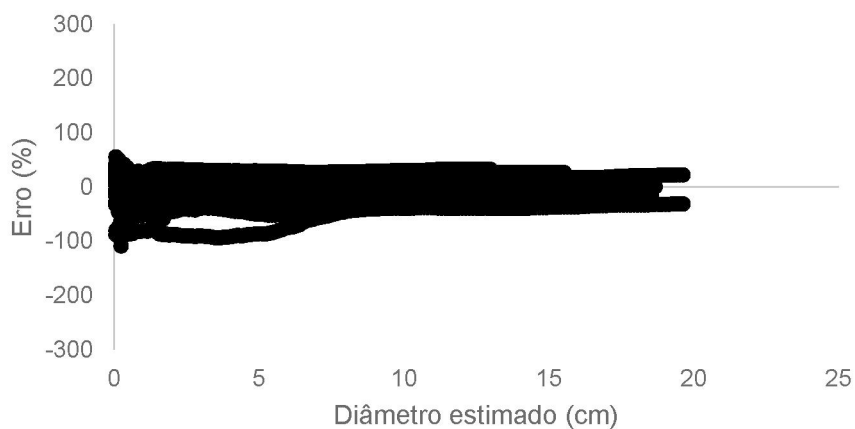
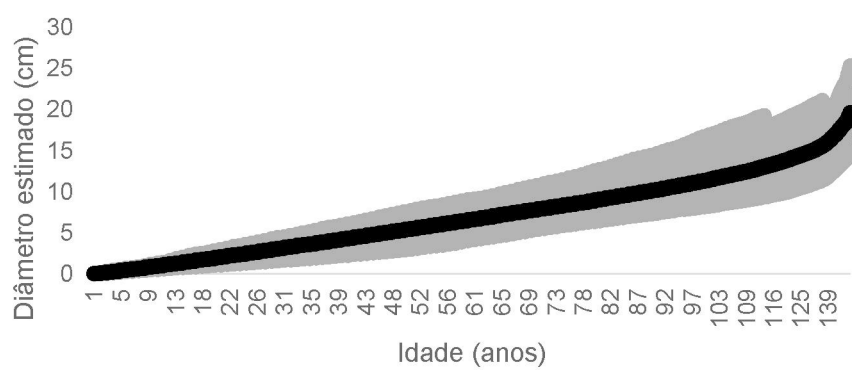


GOL

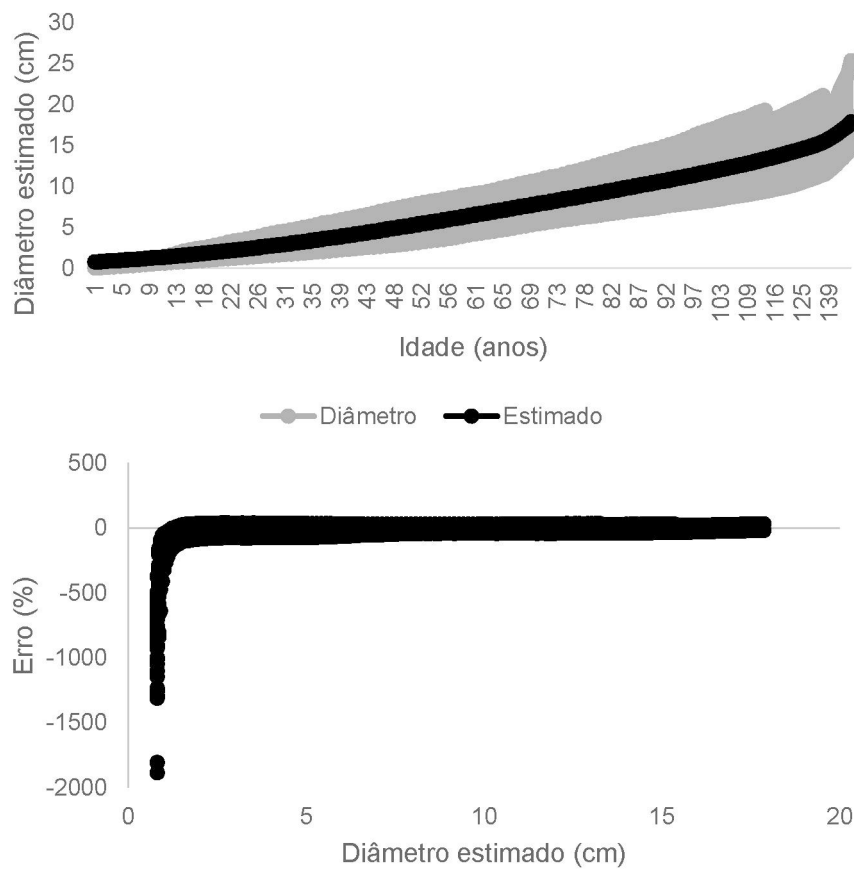
ANEXO 7

CURVAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA O SÍTIO
CARATUVA

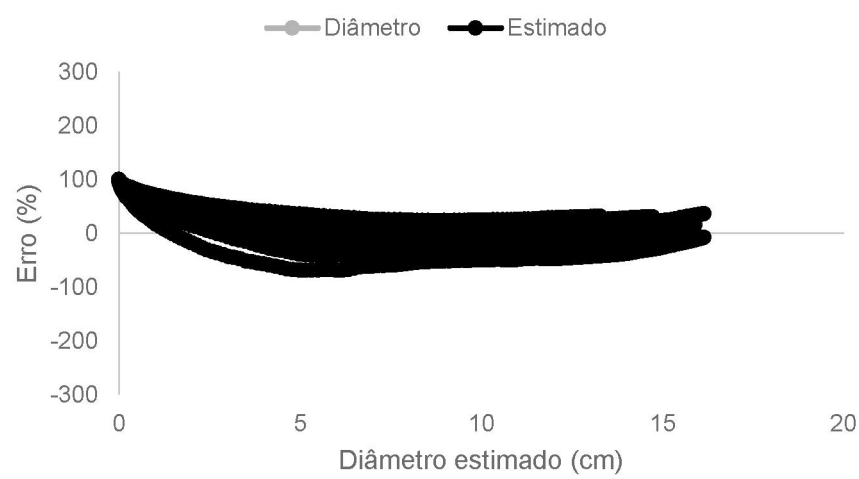
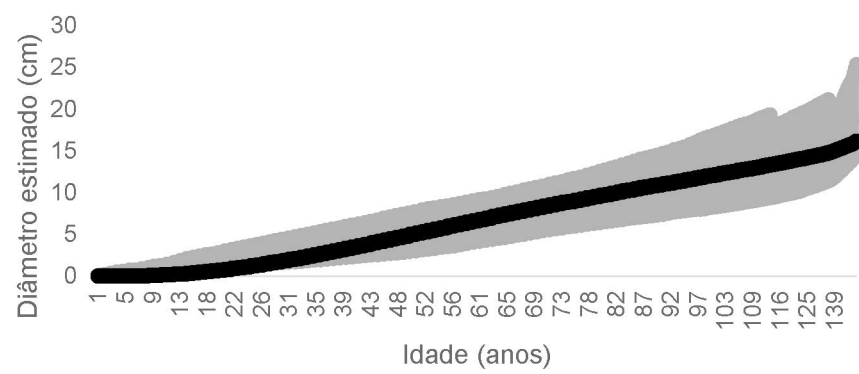
CHAPMAN-RICHARDS



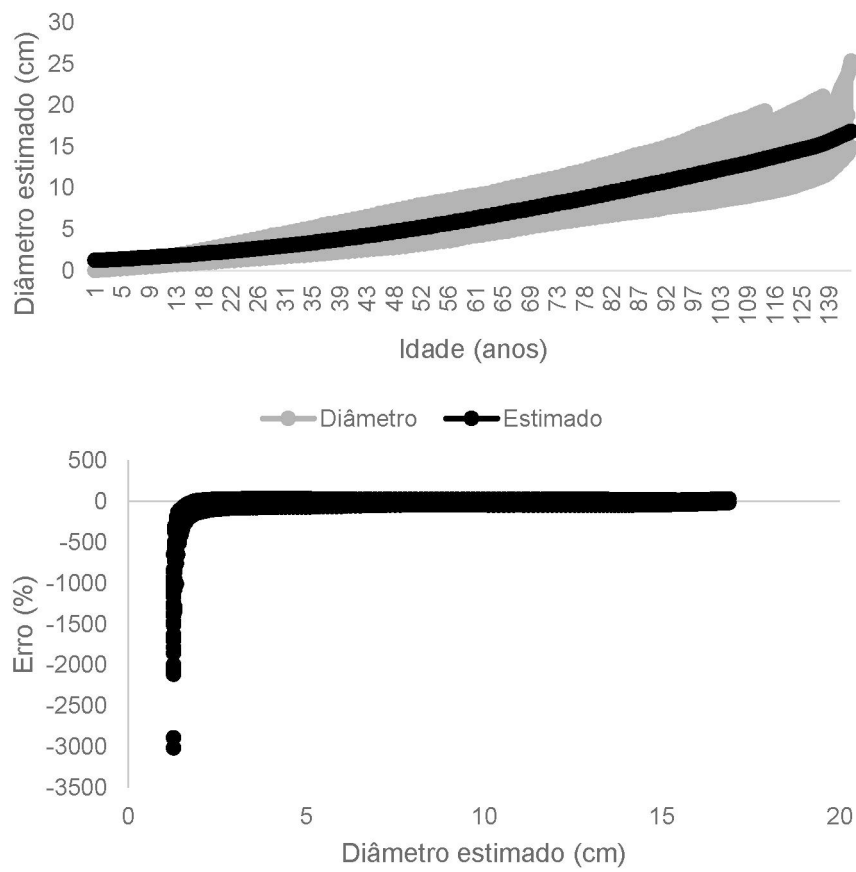
GOMPERTZ



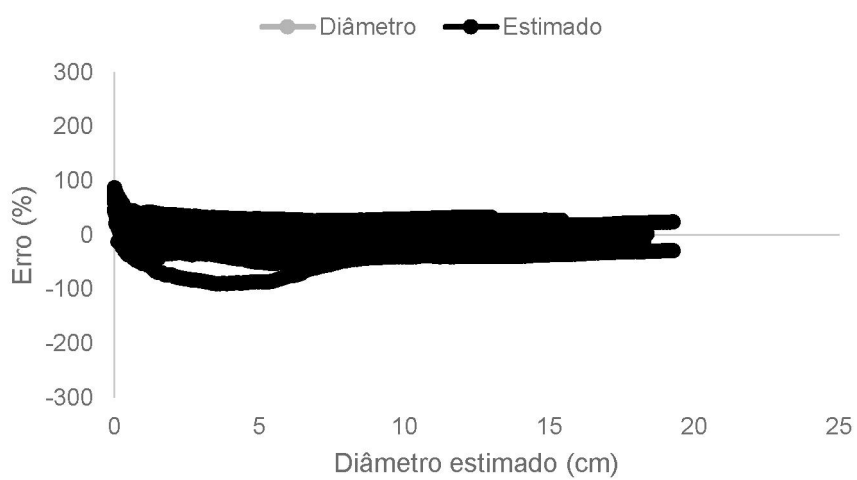
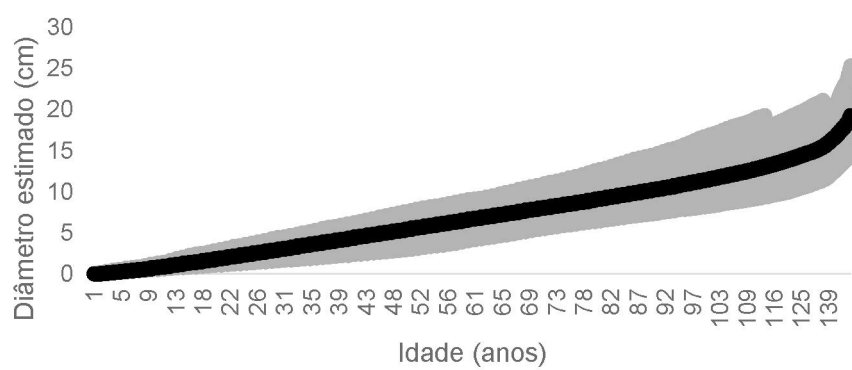
BERTALANFFY

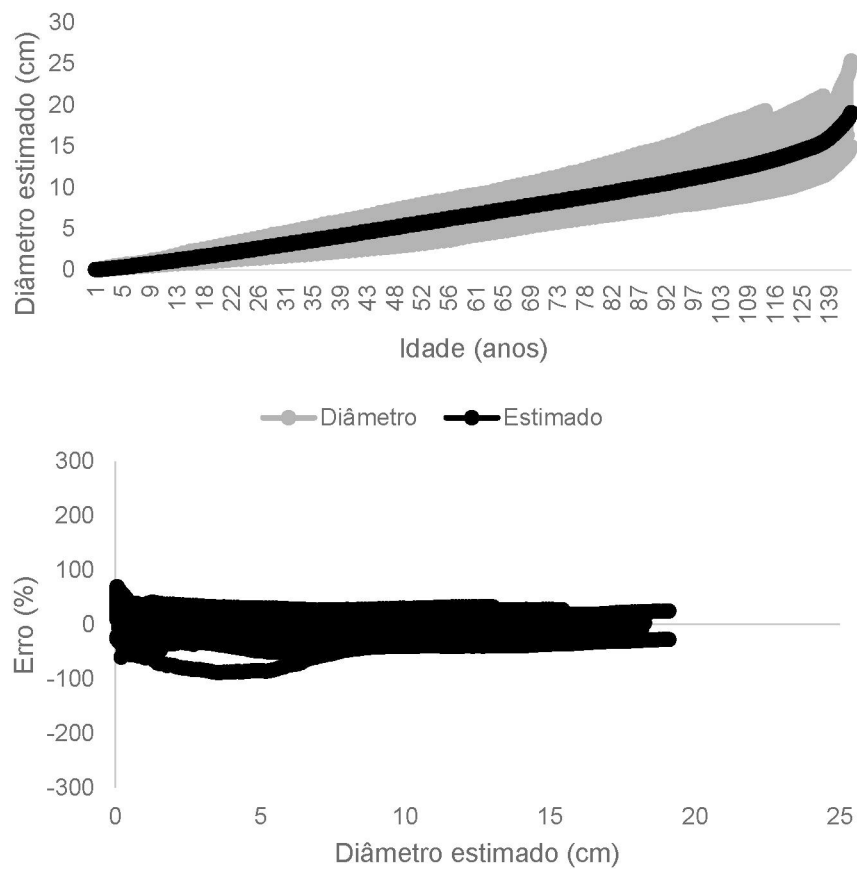


LOGÍSTICO



KORF

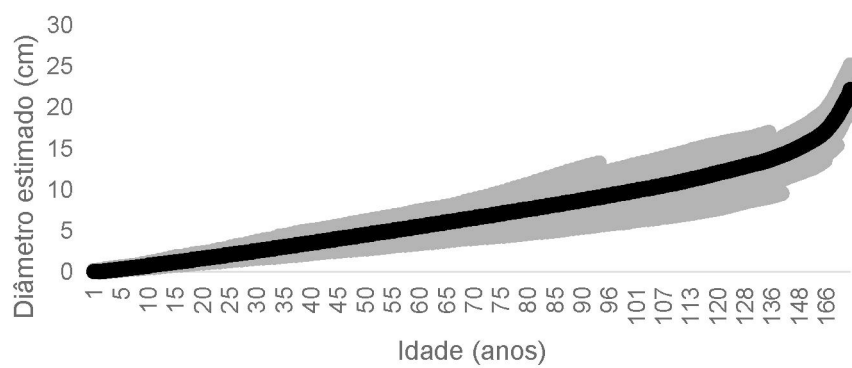


GOL

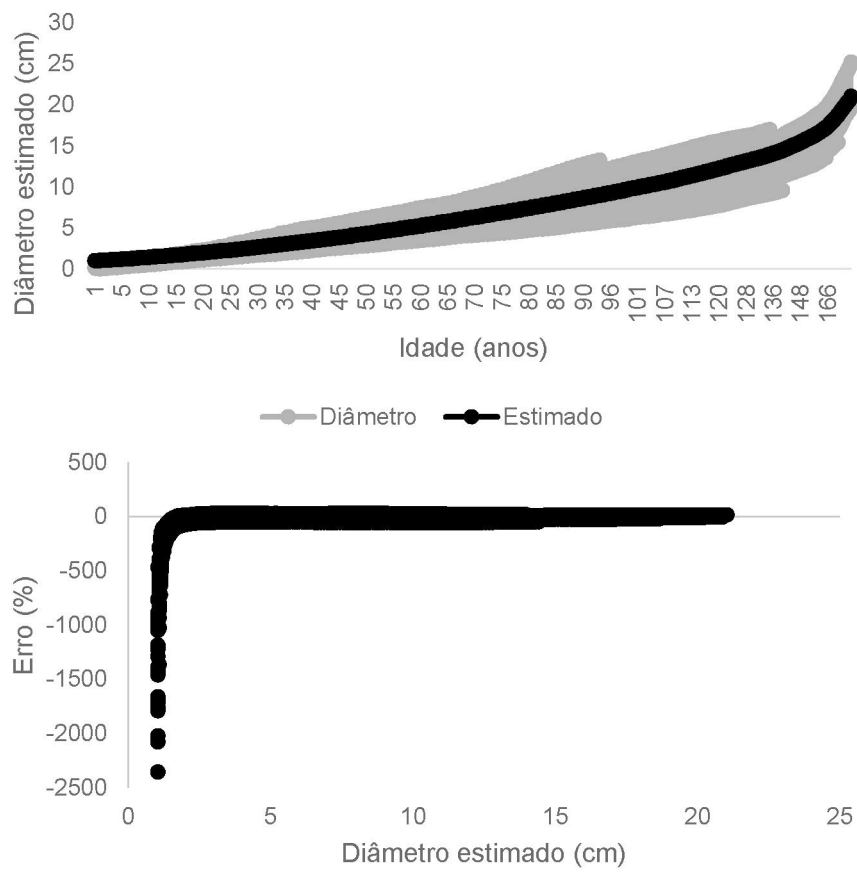
ANEXO 8

CURVAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA O SÍTIO
SETE

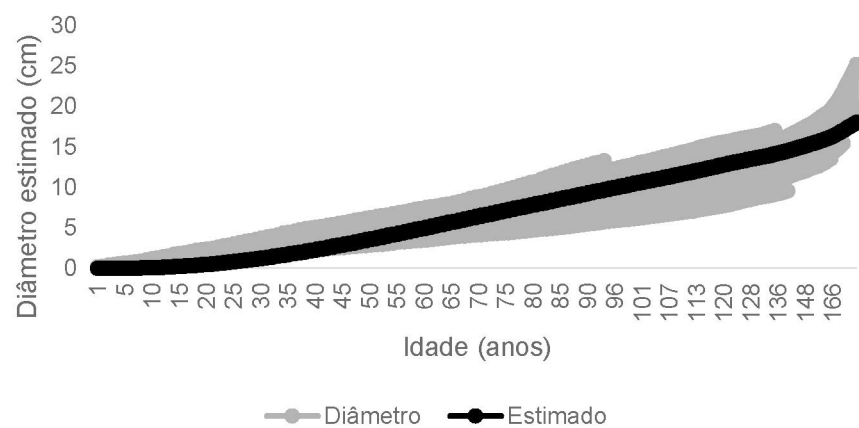
CHAPMAN-RICHARDS



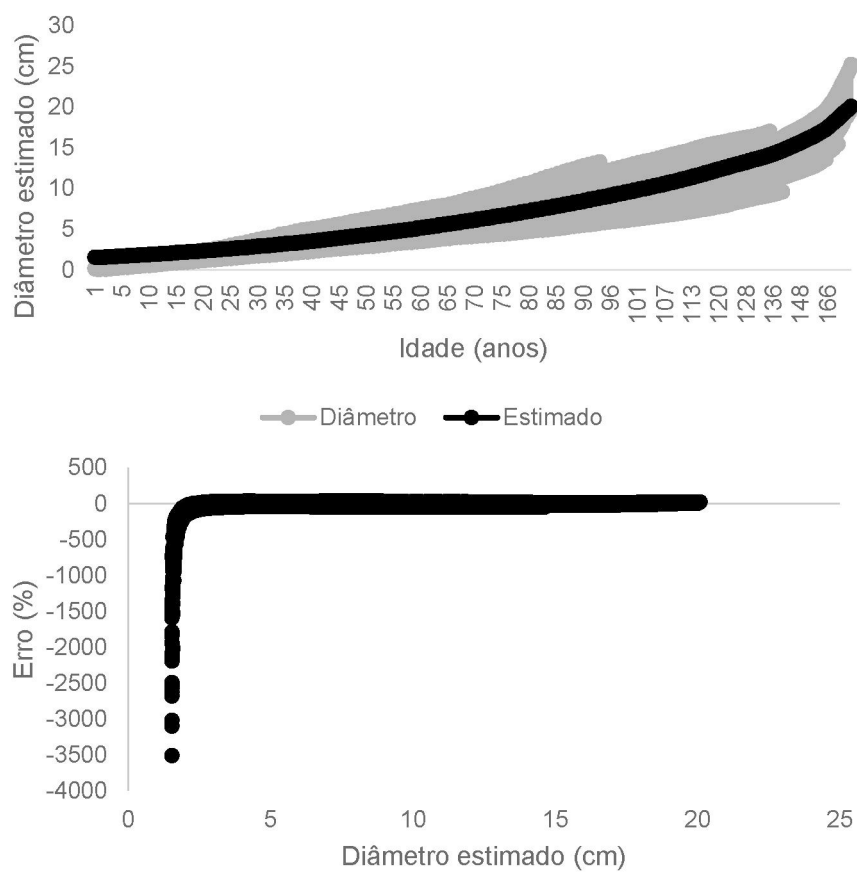
GOMPERTZ



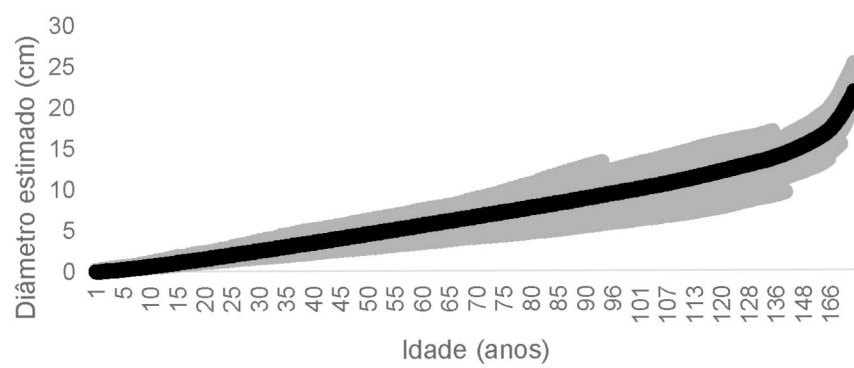
BERTALANFFY

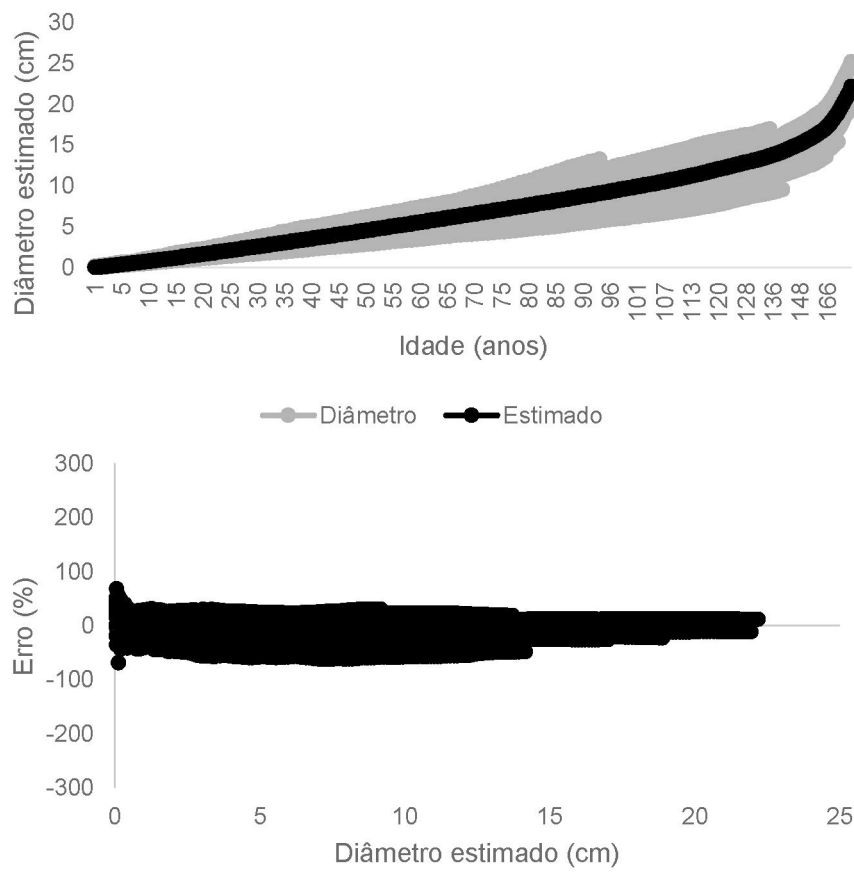


LOGÍSTICO



KORF



GOL

CAPÍTULO 3

5 CRONOLOGIAS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Ilex microdonta* REISSEK (AQUIFOLIACEAE) COMO PROXIES EM RECONSTRUÇÕES CLIMÁTICAS NA FLORESTA ATLÂNTICA NO SUL DO BRASIL

RESUMO

A possibilidade de reconstruir climas pretéritos a partir de diferentes proxies e, dentre eles, os anéis de crescimento, permitiu que a ciência pudesse compreender as dinâmicas espaço-temporais do clima em períodos desprovidos de dados instrumentais. No Brasil, essa lacuna temporal de dados é recorrente, principalmente na região Sul, e mais ainda nas áreas montanhosas da Serra do Mar. A compreensão da variabilidade climática nesse setor é comprometida, também pela má distribuição espacial de estações meteorológicas. Assim, esse capítulo teve como objetivo avaliar se é possível desenvolver modelos robustos de reconstrução climática com anéis de crescimento, tanto para temperaturas quanto precipitação, em quatro montanhas da Serra do Mar paranaense. Para tal, foram utilizadas as cronologias de anéis de crescimento de *Ilex microdonta* desenvolvidas no Capítulo 1, bem como dados de estações meteorológicas locais (IAPAR) e dados de modelagem climática globais (CRU). Os dados foram correlacionados entre si, para verificar sua robustez, e utilizados para as reconstruções com as cronologias por meio do método PCR. Foram determinados os períodos de calibração e verificação, bem como a máscara temporal utilizada, tendo posteriormente geradas suas estatísticas de ajuste (RE, CE e R² ajustado). Dentre os modelos desenvolvidos, os que utilizaram dados de modelagem global preponderaram, principalmente para temperaturas mínimas e precipitação. Em vários dos modelos os períodos que puderam ser reconstruídos corresponderam aos meses do final da primavera e início do verão, em todos os sítios estudados. O modelo desenvolvido para temperatura mínima no sítio Sete foi o que apresentou as melhores estatísticas de ajuste. Foi possível verificar tendências de variação das temperaturas nos modelos, em períodos sem dados instrumentais. Assim, a reconstrução climática para a Serra do Mar paranaense se mostrou possível, com resultados promissores, e que certamente ampliam o conhecimento a respeito da dinâmica climática desses ambientes.

Palavras-chave: clima, PCR, modelos, dendroclimatologia, Serra do Mar, variabilidade climática.

5.1 INTRODUÇÃO

“*O presente é a chave para entender o passado*”. Essa afirmação sintetiza o que é conhecido pelo Princípio da Uniformidade (FRITTS, 1976), que afirma que os mesmos processos físicos e biológicos ligados ao atual ambiente que acontecem no presente também aconteceram no passado. Isso implica que os mesmos fatores limitantes afetaram os processos tanto no passado quanto afetam no presente, em diferentes frequências, intensidades e escalas, muito embora a precisão e exatidão da datação dos processos envolvidos reduz à medida que se avança ao passado (SCHWEINGRUBER, 1989; SPEER, 2010).

Dessa forma, o registro dos efeitos climáticos em organismos, corpos ou substâncias, os quais são denominados como *proxies*, ou arquivos naturais (BRADLEY, 1999; OOSTHOEK, 2018), podem fornecer importantes informações sobre as condições climáticas pretéritas. Os *proxies* podem assumir os mais variados tipos e formas, atuando, também, em diferentes escalas de tempo (TABELA 9).

Dentre os tipos de arquivos naturais disponíveis, os anéis de crescimento das árvores podem fornecer uma série de informações a respeito do clima sobre as quais as árvores estiveram sob efeito, além de serem, teoricamente, fontes de dados mais simples de serem obtidas. Como o crescimento das árvores é diretamente influenciado por condições climáticas, como a temperatura e a precipitação (FRITTS, 1976), os padrões de densidade, largura e composição isotópica dos anéis de crescimento provavelmente podem refletir tais condições. Se os anéis de crescimento têm uma periodicidade de formação conhecida, provavelmente podem representar as condições climáticas passadas de uma região (OOSTHOEK, 2018), o que é a base para estudos de reconstrução climática.

Duas são as fontes de dados necessárias para que as reconstruções climáticas por meio dos anéis de crescimento possam ser realizadas: uma longa série temporal de dados da largura dos anéis de crescimento – uma cronologia –, e uma série temporal de dados climáticos. Diversos são os métodos estatísticos que possibilitam as reconstruções (BRIFFA et al., 1983, 1986, COOK et al., 1999, 2013), entretanto, todos eles necessitam das mesmas fontes de dados já citadas.

TABELA 9 - FONTES DE ARQUIVOS NATURAIS, OU *PROXIES*.

Proxy	Intervalo amostragem	de Amplitude temporal (ordem: anos)	Informação derivada potencial
Registros históricos	Dias/horas	$\sim 10^3$	T, P, B, V, M, L, S
Anéis de crescimento	Anos/Estações	$\sim 10^4$	T, P, B, V, M, S
Sedimentos lacustres	Anual até 20 anos	$\sim 10^4 - 10^6$	T, B, M, P, V, C_W
Corais	Anos	$\sim 10^4$	C_W , L, T, P
Núcleos de gelo	Anos	$\sim 5 \times 10^5$	T, P, C_A , B, V, M, S
Pólen	20 anos	$\sim 10^5$	T, P, B
Espeleotemas	100 anos	$\sim 5 \times 10^5$	C_W , T, P
Paleosolos	100 anos	$\sim 10^6$	T, P, B
Turfa	100 anos	$\sim 10^6$	P, B, M
Feições geomórficas	100 anos	$\sim 10^6$	T, P, V, L, P
Sedimentos marinhos	500 anos	$\sim 10^7$	T, C_W , B, M, L, P

FONTE: Bradley (1999).

LEGENDA: T = temperatura; P = precipitação; C = composição química do ar (C_A) ou água (C_W); B = informação sobre biomassa e padrões de vegetação; V = erupções vulcânicas; M = variações do campo geomagnético; L = nível do mar; S = atividade solar.

Além das cronologias, há uma clara necessidade de se obter boas séries temporais de clima (longas, confiáveis e de alta qualidade). No Brasil, o número e a distribuição espacial de estações meteorológicas é abaixo do ideal, para muitas regiões, com limitações nos dados disponíveis e períodos de observação curtos e incompletos e, quando presentes, estes são quase sempre muito recentes (MONTEIRO et al., 2016). Os dois principais institutos brasileiros que fornecem dados climáticos de acesso livre, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia e ANA – Agência Nacional de Águas, possuem um grande número de estações meteorológicas dispersas pelo território nacional.

Em escala regional, o SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná, possui 48 estações distribuídas pelo estado (SIMEPAR, 2019), com apenas quatro estações localizadas na planície litorânea e outras quatro no primeiro planalto paranaense, sem possuir nenhuma estação localizada em áreas da Serra do Mar, área importante dada às diversas variações espaço-temporais causadas pela orografia desta unidade fisiográfica (BIGARELLA, 1978; BLUM et al., 2011; MAACK, 2012).

Ao longo do tempo a climatologia foi sendo aperfeiçoada, e foram desenvolvidos modelos de representação das diferentes variáveis meteorológicas em nível global, com a formação de dados climáticos de reanálise para diferentes regiões

do mundo, com uma longa extensão temporal, e estatisticamente significativos, podendo ultrapassar os 150 anos. Algumas organizações fornecem dados climáticos em formato de *grid*, com uma variação geográfica entre 0,5 ° até 1 ° (CRU-UEA, 2018; KNMI, 2018).

A principal comparação que pode ser feita entre os dados meteorológicos locais e os dados obtidos a partir de modelagem é que o espectro temporal é maior nos dados modelados e, ainda que não representem uma condição local, podem representar a condição regional. Com isso, e dependendo da extensão das cronologias, pode-se ter um período comum de dados para as análises estatísticas disponíveis para reconstruções.

Além das estações disponíveis não possuírem uma grande cobertura regional e, com período limitado de registros, as reconstruções climáticas com fontes de dados proxy são raras no Brasil (BONINSEGNA et al., 2009), situação comum à maioria das regiões do Hemisfério Sul (NEUKOM; GERGIS, 2012). Dentre os registros de dados proxy disponíveis no país, a maioria é referente aos espeleotemas, sedimentos lacustres e registros de pólen (AULER; SMART, 2001; LEDRU et al., 2005; WAINER et al., 2005; CRUZ et al., 2009; NACE et al., 2014; VIANA et al., 2014). Reconstruções climáticas com o uso de anéis de crescimento também são escassas, e mais raras ainda na região Sul do Brasil (LORENSI; PRESTES, 2016; PRESTES et al., 2018), e em especial na Floresta Atlântica do estado do Paraná, *hotspot* da biodiversidade mundial (MYERS et al., 2000).

Portanto, objetiva-se nesse capítulo: (a) Avaliar funções de resposta em modelos de reconstrução climática baseando-se em anéis de crescimento de *Ilex microdonta* (b) Se modelos robustos forem encontrados, reconstruir as variáveis meteorológicas de temperatura e precipitação e (c) Comparar se os dados de estações locais e dados de modelagem interferem nos resultados observados, uma vez que em média as cronologias têm extensões entre 150 e 200 anos e em termos de extensão temporal, podem ser bons *proxies* climáticos desenvolvidos para essa região.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações relativas às áreas de estudos, coleta e preparo do material foram descritas no item 2 desta tese, e a construção das cronologias foi descrita no item 3.2.1 do capítulo 1.

5.2.1 Reconstruções climáticas

Foram utilizadas as cronologias de anéis de crescimento desenvolvidas para *I. microdonta* em cada um dos sítios (ver capítulo 1), sendo a mais extensa obtida no sítio Sete, com mais de 200 anos. Visando obter a maior período possível para a reconstrução, a cronologia foi utilizada completa.

As reconstruções climáticas foram desenvolvidas para os dados climáticos locais, considerando as variáveis de temperaturas máximas e mínimas, e de precipitação. Foram utilizadas as maiores séries temporais disponíveis das variáveis (aproximadamente 40 e 100 anos, para temperatura e precipitação, respectivamente), as quais correspondem às estações de Pinhais e Mananciais da Serra (25°27'S e 49°10'W e 25°29'S e 48°59'W, respectivamente).

Para verificar se a qualidade dos dados climáticos poderia interferir sobre os resultados observados, foram testados também dados meteorológicos provenientes de um banco de dados global (CRU-UEA, 2018), obtidos através da plataforma KNMI *Climate Explorer* (KNMI, 2018). Pelo fato de ser uma base de dados de modelagem, esta plataforma leva em conta a distribuição espacial dos valores e, portanto, abrange uma área consideravelmente extensa, como é o caso da Serra do Mar. As séries temporais obtidas ultrapassam os 100 anos, iniciadas em torno do ano de 1900. Para verificar a representatividade dos dados CRU em relação aos dados climáticos locais, ambas as fontes de dados foram comparadas entre si, pelos valores médios anuais de temperatura, e pela soma total de precipitação anual, por meio de análise de correlação de Pearson, no software Microsoft Excel 365.

Diversos são os métodos utilizados para a técnica de reconstruções climáticas, podendo levar em conta a distribuição espacial das estações climáticas e das cronologias (AHMED et al., 2013; GERGIS et al., 2016). Neste estudo, utilizou-se a metodologia PCR – *Principal Component Regression* (COOK; KAIRIUKSTIS, 1990), amplamente utilizada em estudos de reconstrução dendroclimática (COOK et al.,

1999, 2003, 2013; D'ARRIGO et al., 2014), através do *software* PC-Reg (disponível em <http://www.ideo.columbia.edu/tree-ring-laboratory/resources/software>).

Foram definidos, dentro das séries climáticas, períodos de calibração e de verificação, das estatísticas analisadas pelo PCR. Para cada uma das variáveis climáticas, tanto de dados locais quanto CRU, foram testados os meses e/ou períodos em que houve maiores correlações entre as cronologias e as séries de dados (vide resultados do Capítulo 1), para determinar a máscara temporal a ser utilizada para as reconstruções (TABELA 10). Os testes foram realizados para o valor bruto de cada mês (tanto para temperatura quanto precipitação), para temperatura, pela média do agrupamento dos meses e, para precipitação, para soma dos valores do agrupamento dos meses.

TABELA 10 – MÁSCARAS TEMPORAIS UTILIZADAS EM CADA SÍTIO, PARA AJUSTE DOS MODELOS DE RECONSTRUÇÃO.

Variável-Sítio	AN	CP	CR	SE
T. Máxima	JAN-ABR	FEV-JUN	JUL-DEZ	NOV-ABR
T. Mínima	JAN-MAR	MAR-MAI	NOV-MAR	SET-ABR
Precipitação	SET-MAR	SET-MAR	NOV-FEV	NOV-JAN

FONTE: O autor (2019).

No *software* PC-Reg, foi adotada a metodologia PPR – *Point-by-Point Regression* (COOK et al., 1999), tendo como critério de escolha dos modelos de regressão o critério do mínimo AIC – *Akaike Information Criterion*. O teste AIC constitui uma medida relativa da qualidade de ajuste de um modelo estatístico estimado, para modelos paramétricos. Na comparação entre os modelos, os que possuem o menor AIC são considerados melhores (POSADA; BUCKLEY, 2004; SANQUETTA et al., 2014).

Para verificar a robustez dos modelos gerados, foram analisados os critérios de RE – *Reduction of Error* (Redução de erro) e CE – *Coefficient of Efficiency* (Coeficiente de Eficiência), associado aos valores de R^2 ajustado, para cada modelo (FRITTS, 1976; COOK et al., 1994). Para um modelo ter alguma eficiência em estimar os dados, os valores de RE e CE devem ser positivos, sendo que quanto maior o valor dessas variáveis melhores são os modelos (O'DONNELL et al., 2015).

Para os modelos que apresentaram as melhores estatísticas foram gerados gráficos comparativos, dos períodos de calibração e verificação. Ao final, os modelos foram classificados de maneira decrescente, de acordo com os critérios estatísticos de RE e CE, além do R^2 ajustado, a fim de identificar as melhores variáveis passíveis de serem reconstruídas com as cronologias desenvolvidas com *Ilex microdonta* na Serra do Mar paranaense.

5.3 RESULTADOS

As variáveis que foram ajustadas a modelos robustos, com valores de RE e CE positivos, para a reconstrução foram principalmente as temperaturas mínimas e a precipitação (TABELA 11). Em todos os sítios a temperatura mínima pode ser reconstruída com os dados CRU e, com os dados locais, apenas as temperaturas máxima e mínima, nos sítios Capivari e Sete, respectivamente. Os dados CRU foram os que resultaram em melhores estatísticas de reconstruções em relação aos dados das estações.

TABELA 11 - RECONSTRUÇÕES CLIMÁTICAS COM MODELOS ROBUSTOS (CE E RE POSITIVOS), CONSIDERANDO A MÁSCARA TEMPORAL UTILIZADA.

Sítio		Local	CRU
Anhangava	T.Máx	-	-
	T.Mín	-	JAN
	Pp	-	MAR
Capivari	T.Máx	MAR-MAI	-
	T.Mín	-	ABR
	Pp	-	MAR
Caratuva	T.Máx	-	OUT
	T.Mín	-	JAN
	Pp	-	-
Sete	T.Máx	-	-
	T.Mín	OUT-MAR	OUT-JAN
	Pp	-	JAN

FONTE: O autor (2019).

A análise de correlação de Pearson entre os dados climáticos locais e os dados do CRU mostrou que, dentre as variáveis climáticas avaliadas, a temperatura mínima anual média foi a que obteve maiores valores de correlação, sendo estatisticamente significativa ($r=0,757$; $p<0,01$). A correlação das variáveis de precipitação e temperatura máxima ($r=0,447$ e $r=0,506$, respectivamente) não apresentaram valores estatisticamente significativos, a 99% de probabilidade.

Os valores obtidos através da PCR realizado, em que apenas os dados com resultados de RE e CE positivos foram considerados, são apresentados na TABELA 12 a TABELA 15, para os sítios Anhangava, Capivari, Caratuva e Sete,

respectivamente. Dentre todas as reconstruções realizadas, a que mais obteve destaque, com maiores valores de correlação e melhores estatísticas, foi a reconstrução com a temperatura mínima, utilizando-se os dados CRU, no sítio Sete, enquanto a que obteve resultados observados positivos, porém mais baixos foi no sítio Capivari, com a precipitação. Os valores de correlação nos períodos de verificação foram superiores aos estabelecidos nos períodos de calibração, embora as estatísticas de RE e CE fossem ligeiramente inferiores.

TABELA 12 - ESTATÍSTICAS DAS RECONSTRUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O SÍTIO ANHANGAVA. NOTA: NS* = NÃO SIGNIFICATIVO (VALORES DE RE E/OU CE NEGATIVOS).

ANHANGAVA	DADOS LOCAIS								
	Variável = Temperatura Máxima								
	Variável = Temperatura Mínima ns*								
	Variável = Precipitação								
	DADOS CRU								
	Variável = Temperatura Máxima ns*								
	Variável = Temperatura Mínima								
	Máscara temporal = <u>Janeiro</u>								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1920-1999	0.254	0.244	0.254	0.254	1902-1919	0.684	0.302	0.289
% da variação dos dados explicada pelo modelo = 26,41%									
ANHANGAVA	Variável = Precipitação								
	Máscara temporal = <u>Março</u>								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1920-1999	0.364	0.055	0.133	0.133	1902-1919	0.325	0.137	0.068
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 13,26%								

FONTE: O autor (2019).

TABELA 13 - ESTATÍSTICAS DAS RECONSTRUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O SÍTIO CAPIVARI.
 Nota: ns* = não significativo (valores de RE e/ou CE negativos).

CAPIVARI	DADOS LOCAIS								
	Variável = Temperatura Máxima Máscara temporal = Março-Abril-Maio								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1988-1998	0.401	0.334	0.401	0.401	1978-1987	0.548	0.222	0.21
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 40,10%								
	Variável = Temperatura Mínima ns*								
	Variável = Precipitação								
	DADOS CRU								
	Variável = Temperatura Máxima ns*								
	Variável = Temperatura Mínima Máscara temporal = Abril								
CAPIVARI	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1940-1999	0.181	0.152	0.181	0.181	1901-1939	0.558	0.216	0.232
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 18,07%								
	Variável = Precipitação Máscara temporal = Março								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1900-1999	0.041	0.031	0.041	0.041	1885-1889	0.207	0.037	0.037
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 4,13%								

FONTE: O autor (2019).

TABELA 14 - ESTATÍSTICAS DAS RECONSTRUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O SÍTIO CARATUVA. Nota: ns* = não significativo (valores de RE e/ou CE negativos).

CARATUVA	DADOS LOCAIS								
	Variável = Temperatura Máxima								
	Variável = Temperatura Mínima ns*								
	Variável = Precipitação								
	DADOS CRU								
	Variável = Temperatura Máxima								
	Máscara temporal = Outubro								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1915-2015	0.263	0.241	0.263	0.263	1901-1914	0.15	0.022	0.022
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 26,34%								
	Variável = Temperatura Mínima								
	Máscara temporal = Janeiro								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1940-1999	0.247	0.234	0.247	0.247	1901-1939	0.572	0.216	0.171
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 24,67%								
	Variável = Precipitação ns*								

FONTE: O autor (2019).

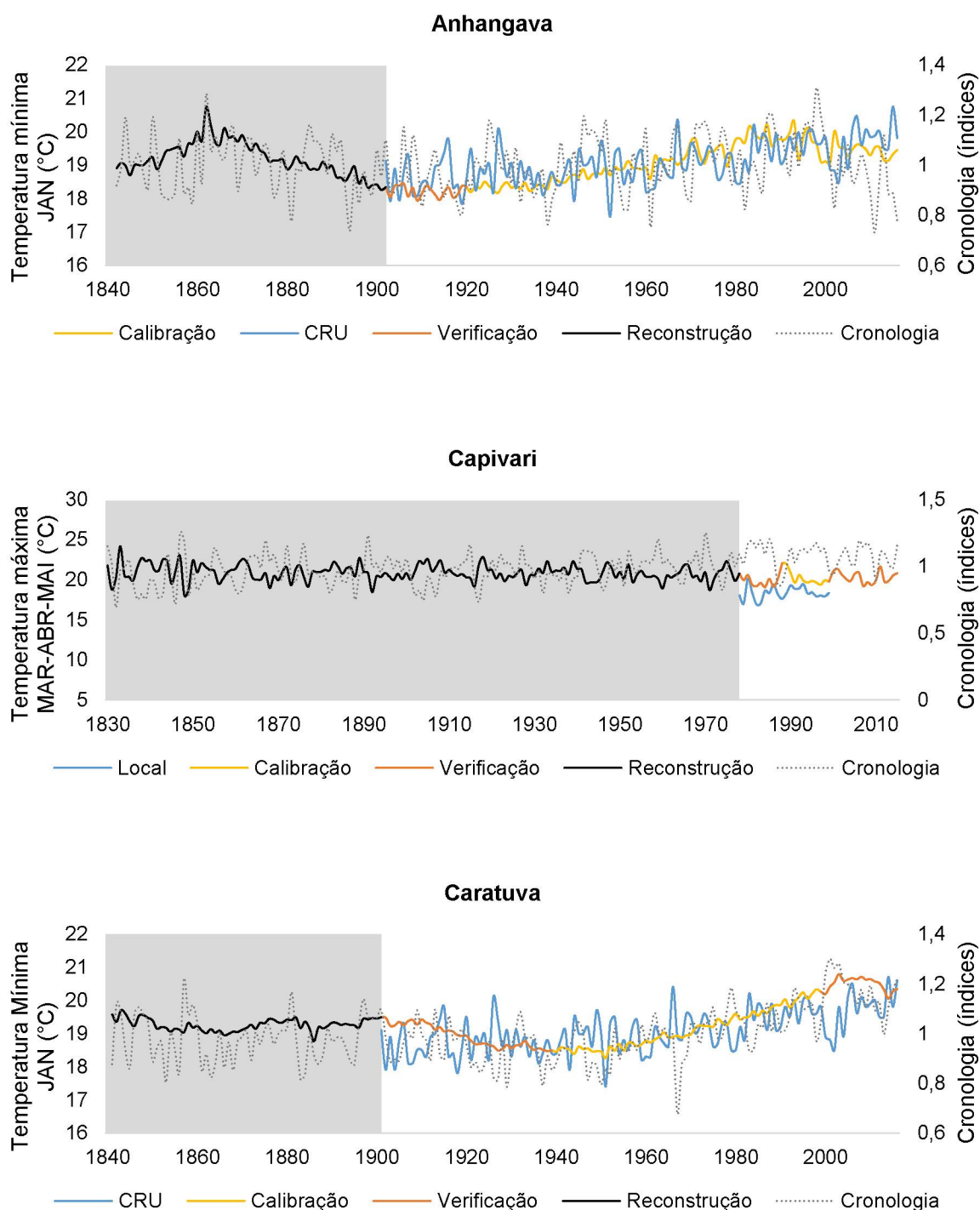
TABELA 15 - ESTATÍSTICAS DAS RECONSTRUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA O SÍTIO SETE.
 Nota: ns* = não significativo (valores de RE e/ou CE negativos).

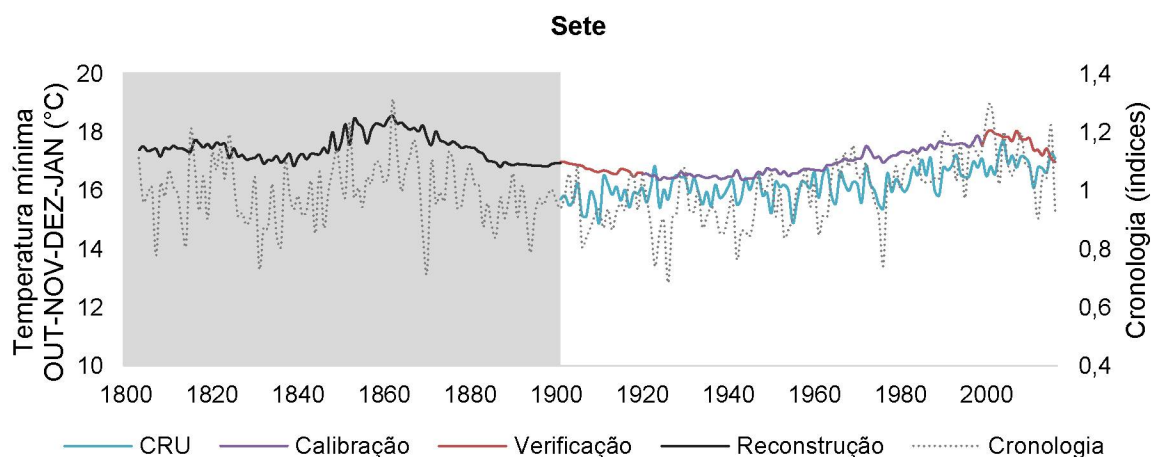
SETE	DADOS LOCAIS								
	Variável = Temperatura Máxima ns*								
	Variável = Temperatura Mínima								
	Máscara temporal = Outubro a Março								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1980-2000	0.339	0.304	0.339	0.339	1967-1979	0.373	0.107	0.085
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 33,90%								
	Variável = Precipitação ns*								
	DADOS CRU								
	Variável = Temperatura Máxima ns*								
	Variável = Temperatura Mínima								
	Máscara temporal = Outubro a Janeiro								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1920-1999	0.343	0.317	0.343	0.343	1901-1919	0.759	0.507	0.498
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 34,29%								
	Variável = Precipitação								
	Máscara temporal = Janeiro								
	Calibração	r	R ² Adj	RE	CE	Verificação	r	RE	CE
	1910-1999	0.056	0.046	0.056	0.056	1886-1909	0.251	0.067	0.041
	% da variação dos dados explicada pelo modelo = 5,62%								

FONTE: O autor (2019).

Com base nos resultados obtidos com a estatística de validação dos modelos, são apresentados os gráficos dos períodos sem dados instrumentais, reconstruídos, para o sítio Anhangava, Capivari, Caratuva e Sete, respectivamente (FIGURA 33).

FIGURA 33 - RECONSTRUÇÕES CLIMÁTICAS DESENVOLVIDAS, CONSIDERANDO A MÁSCARA TEMPORAL UTILIZADA EM CADA SÍTIO. A ÁREA HACHURADA CORRESPONDE AOS PERÍODOS RECONSTRUÍDOS.





FONTE: O autor (2019).

Em todas as reconstruções utilizando dados do CRU (Sítios AN, CR e SE), provenientes de modelagem, foi possível observar uma tendência de acréscimo das temperaturas mínimas a partir da década de 1950, enquanto os dados de estações locais (CP) apresentaram uma manutenção da média dos valores, ao longo de toda a série temporal. Também foi possível observar que entre 1840 e 1880 as cronologias desenvolvidas para os sítios Anhangava e Sete identificaram um pico de aumento das temperaturas mínimas, fato esse não observado para os sítios Capivari e Caratuva.

5.4 DISCUSSÃO

O futuro incerto a respeito das mudanças climáticas e projeções do clima não dependem única e exclusivamente das emissões de gases de efeito estufa – GEEs (ESPER et al., 2018), mas também da habilidade dos modelos climáticos de reproduzirem com confiabilidade o clima passado (GERGIS et al., 2016). Entender o clima numa perspectiva histórica, anterior aos registros instrumentais, é importante para distinguir ações antropogênicas da variabilidade climática natural do planeta (MARCOTT et al., 2013).

Dessa forma, reconstruções de escala regional podem fornecer uma base para avaliações dos modelos climáticos em simular a variabilidade do clima pretérito, e são uma oportunidade para reduzir as incertezas associadas à variabilidade climática futura (AHMED et al., 2013). Entretanto, a interpretação de *proxies* climáticos ainda é problemática, em termos de entendimento dos mecanismos de controle do clima local e regional (WAINER et al., 2005).

Dentre as diferentes fontes de dados *proxy* utilizadas para reconstruções climáticas, os anéis de crescimento muito provavelmente sejam os dados mais utilizados para este fim, em função da precisão anual da datação (ou periodicidade conhecida), comparado a outros métodos (ESPER et al., 2018). No Brasil, estudos com anéis de crescimento para reconstruções são escassos e, quando utilizados, são para avaliar as precipitações nas estações da primavera e verão e análise da atividade solar (LORENSI; PRESTES, 2016; PRESTES et al., 2018).

As reconstruções climáticas mais longevas já obtidas com anéis de crescimento na América do Sul cobrem aproximadamente 1200 anos (AHMED et al., 2013), embora estudos com espeleotemas possam alcançar milhares de anos (WANG et al., 2004). Muito embora as cronologias de anéis de crescimento sejam amplamente utilizadas (BONINSEGNA et al., 2009), novas fontes de dados de alta resolução, como séries isotópicas de δO_{18} , podem auxiliar a detecção da variabilidade intra-anual e fornecer assim bons registros da variabilidade climática dos diferentes sítios (ANCHUKAITIS et al., 2008).

Dados meteorológicos de reanálise reproduzem numa larga escala espacial e por extensos períodos dados de sistemas de assimilação climática e modelos de previsões que extrapolam parâmetros não observados por estações meteorológicas locais, e essas observações provêm de estações de solo, navios, satélites e balões

meteorológicos (MONTEIRO et al., 2016). É importante avaliar a similaridade dos dados de reanálise vs dados locais para a região de interesse (DILE; SRINIVASAN, 2014), uma vez que fatores geográficos regionais podem alterar a distribuição espaço-temporal da circulação atmosférica, como chuvas orográficas em regiões montanhosas, por exemplo (MONTEIRO et al., 2016).

Ao comparar os dois diferentes tipos de dados climáticos utilizados, os valores de correlação mostraram que as temperaturas mínimas apresentaram maior associação do que as temperaturas máximas e precipitação. Embora as diferentes temperaturas tenham diferido estatisticamente entre si, os valores encontrados de correlação para ambas e para precipitação são similares a outros estudos de comparação de dados climáticos (MONTEIRO et al., 2016; COLSTON et al., 2018), devendo ser levado em consideração a distribuição espacial dos dados de estações locais (HOFSTRA et al., 2010).

Os baixos valores observados de RE e CE nos modelos para a reconstrução da precipitação nos dados CRU, tanto para os períodos de calibração quanto verificação, podem ser, em parte, justificados, justamente, pelo fato de que os dados de reanálise não conseguem detectar as variações espaciais da microtopografia no terreno, principalmente na Serra do Mar, em que as taxas de precipitação são bastante variáveis graças a sua topografia (BIGARELLA, 1978; MAACK, 2012). Embora as correlações encontradas com a variável se apresentem significativas (vide os resultados para dados locais do capítulo 1), possivelmente as cronologias não foram suficientemente sensíveis a esta variável para os meses utilizados como máscara temporal para as reconstruções, épocas em que as taxas de precipitação são, em geral, maiores (RODERJAN; GRODZKI, 1999; BLUM et al., 2011), não sendo, portanto, um fator limitante à espécie.

Em um estudo desenvolvido com *Callitris columellaris*, em uma região semi-árida no nordeste da Austrália, O'Donnell et al. (2015) encontraram correlações entre as cronologias e as precipitações e o índice de seca PSDI (*Palmer Drought Severity Index*) de verão e outono (dezembro a maio), com valores de RE e CE para os períodos de verificação acima de 0,50, e R^2 ajustado acima de 0,70, valores estes acima dos verificados neste estudo. Cabe ressaltar que essa região apresenta uma taxa de precipitação anual de aproximadamente 300mm/ano, diferentemente do que é observado para a Serra do Mar paranaense, com valores que podem alcançar 3000 mm/ano (BIGARELLA, 1978).

Dentre as temperaturas, as mínimas apresentaram maiores valores de RE e CE, comparado às máximas, e isso também pode ser justificado pelas correlações entre a variável e as cronologias desenvolvidas (vide Capítulo 1). Em termos de reconstrução, os períodos de verificação se sobrepuseram aos de calibração e, ainda que tenham tido extensões temporais diferenciadas, os resultados apresentados foram satisfatórios, e comparáveis a reconstruções desenvolvidas em outras partes do mundo (TRACHSEL et al., 2012).

Os valores de RE e CE, bem como R^2 ajustado, das temperaturas, em especial das mínimas, corroboram com os encontrados por outros autores (D'ARRIGO et al., 2014; GERGIS et al., 2016) e, em especial na observação de um período de maior aquecimento das temperaturas mínimas a partir de 1950, que perdura até os dias atuais, mesmo comportamento observado nas reconstruções para as variáveis de temperaturas nos sítios Capivari, Caratuva e Anhangava.

Além deste, foi identificado um aumento das temperaturas de verão entre meados de 1840 e 1880, com um resfriamento a partir de 1900, que durou até meados de 1950, ponto em que se sucedeu ao aumento da temperatura novamente. Abordagens multiproxy em reconstruções da temperatura do ar nos últimos séculos na América do Sul, e em especial nas altas e médias latitudes, identificaram nesses mesmos períodos um comportamento similar (VILLALBA et al., 1996; NEUKOM et al., 2011).

Essas variações climáticas observadas nas reconstruções podem também, em parte, serem associadas a eventos climáticos de médias e baixas frequências, como o *El Niño*, SAM e PDO (NEUKOM et al., 2011). Esses eventos apresentam fortes correlações com o clima das médias e altas latitudes no hemisfério sul (LARA; VILLALBA, 1993; GUPTA; ENGLAND, 2006; BONINSEGNA et al., 2009; NEUKOM et al., 2011; ABRAM et al., 2014), na formação de teleconexões, especialmente com a precipitação (KAYANO; ANDREOLI, 2007; GRIMM; TEDESCHI, 2009; HOLZ et al., 2017).

Embora existam fortes indícios da atuação do SAM nas latitudes médias e sua relação com a precipitação (VILLALBA et al., 2012; ABRAM et al., 2014; O'DONNELL et al., 2015), os resultados encontrados no capítulo 1 desta tese reforçam a hipótese de que esse evento pode ser um dos moduladores climáticos para a região da Serra do Mar paranaense.

5.5 CONCLUSÕES

Foi possível realizar a reconstrução climática para as variáveis de temperatura máxima e mínima e precipitação. Os valores positivos de RE e CE são indicativos de que os modelos são válidos e demonstram habilidade como preditores do clima pretérito. Dentre as variáveis que apresentaram os melhores resultados, a temperatura mínima preponderou, seguido pela temperatura máxima e a precipitação.

Verificou-se que há possibilidade de reconstrução climática, com parâmetros estatísticos significativos, para as temperaturas mínimas, tanto nos períodos de calibração quanto nos de verificação, em todos os sítios. Para temperatura máxima, os sítios que possibilitaram a reconstrução foram o Capivari e o Caratua e, para precipitação, o Anhangava, Capivari e o Sete.

Foram observadas diferenças entre os dados climáticos de estações locais vs dados de reanálise, e a correlação entre os dois foi significativa apenas para a temperatura mínima. As melhores estatísticas de reconstrução foram com os dados de reanálise, em detrimento aos dados de estações locais e, portanto, sugere-se a utilização desse tipo de dado para reconstruções climáticas.

A espécie estudada se apresentou promissora como um *proxy* para reconstruções climáticas com anéis de crescimento na Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Paraná, possibilitando inferir a respeito do clima pelo menos nos últimos 200 anos, ainda que com parâmetros estatísticos com valores abaixo dos verificados para regiões do Hemisfério Norte e nas altas latitudes do Hemisfério Sul.

Este é o primeiro registro da utilização da técnica de reconstruções climáticas para a Floresta Ombrófila Densa no Paraná, e os resultados reafirmam a necessidade de uma maior utilização de cronologias de anéis de crescimento de espécies longevas e sensíveis ao clima para que se possa ampliar a extensão temporal das reconstruções para essa região.

REFERÊNCIAS

- ABRAM, N. J. et al. Evolution of the Southern Annular Mode during the past millennium. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 564–569, 2014.
- AHMED, M. et al. Continental-scale temperature variability during the past two millennia. **Nature Geoscience**, v. 6, p. 339–346, 2013.
- ANCHUKAITIS, K. J. et al. Stable isotope chronology and climate signal calibration in neotropical montane cloud forest trees. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 113, n. 3, p. 1–17, 2008.
- AULER, A. S.; SMART, P. L. Late quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary Research**, v. 55, n. 2, p. 159–167, 2001.
- BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado e Planejamento, 1978.
- BLUM, C. T. et al. O clima e sua influência na distribuição da Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Morretes, Paraná. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 589–598, 2011.
- BONINSEGNA, J. A. et al. Dendroclimatological reconstructions in South America: A review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3–4, p. 210–228, 2009.
- BRADLEY, R. S. **Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary**. London: Academic Press, 1999.
- BRIFFA, K. R. et al. Climate Reconstruction From Tree Rings - Part 1: Basic Methodology and Preliminary-Results for England. **Journal of Climatology**, v. 3, n. 3, p. 233–242, 1983.
- BRIFFA, K. R. et al. Climate reconstruction from tree rings - Part 2: Spatial reconstruction of summer mean sea-level pressure patterns over Great Britain. **Journal of Climatology**, v. 6, n. 1, p. 1–15, 1986.

COLSTON, J. M. et al. Evaluating meteorological data from weather stations, and from satellites and global models for a multi-site epidemiological study. **Environmental Research**, v. 165, p. 91–109, 2018.

COOK, E. R. et al. Spatial regression methods in dendroclimatology: A review and comparison of two techniques. **International Journal of Climatology**, v. 14, n. 4, p. 379–402, 1994.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Science**. Boston: Kluwer Press, 1990.

COOK, E. R. et al. Dendroclimatic signals in long tree-ring chronologies from the Himalayas of Nepal. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 707–732, 2003.

COOK, E. R. et al. Drought reconstructions for the continental United States. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1145–1162, 1999.

COOK, E. R. et al. Five centuries of Upper Indus River flow from tree rings. **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 365–375, 2013.

CRU-UEA. **Climate Research Unit**. Disponível em: <<http://www.cru.uea.ac.uk/>>. Acesso em: 02 out. 2018.

CRUZ, F. W. et al. Orbital and millennial-scale precipitation changes in Brazil from speleothem records. In: VIMEUX, F.; SYLVESTRE, F. KHODRI, M. (Eds.). **Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions**. Paris: Springer-Science & Business Media, 2009. p. 29–60.

D'ARRIGO, R. et al. Tree-ring reconstructed temperature index for coastal northern Japan: implications for western North Pacific variability. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 12, p. 3713–3720, 2014.

DILE, Y. T.; SRINIVASAN, R. Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: An application in the Blue Nile river basin. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, n. 5, p. 1226–1241, 2014.

ESPER, J. et al. Large-scale, millennial-length temperature reconstructions from tree-rings. **Dendrochronologia**, v. 50, p. 81–90, 2018.

FRITTS, H. C. **Tree Rings and Climate**. Caldwell: The Blackburn Press, 1976.

GERGIS, J. et al. Australasian Temperature Reconstructions Spanning the Last Millennium. **Journal of Climate**, v. 29, p. 5365–5392, 2016.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589–1609, 2009.

GUPTA, A. S.; ENGLAND, M. H. Coupled ocean–atmosphere–ice response to variations in the Southern Annular Mode. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4457–4486, 2006.

HOFSTRA, N. et al. The influence of interpolation and station network density on the distributions and trends of climate variables in gridded daily data. **Climate Dynamics**, v. 35, n. 5, p. 841–858, 2010.

HOLZ, A. et al. Southern Annular Mode drives multicentury wildfire activity in southern South America. **PNAS**, v. 114, n. 36, p. 1–6, 2017.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 531–540, 2007.

KNMI. **Climate Explorer**. Disponível em: <<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>>. Acesso em: 02 out. 2018.

LARA, A.; VILLALBA, R. A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South America. **Science**, v. 260, n. 5111, p. 1104–1106, 1993.

LEDRU, M. P. et al. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. **Quaternary Research**, v. 64, n. 3, p. 444–450, 2005.

LORENSI, C.; PRESTES, A. Dendroclimatological reconstruction of spring-summer precipitation for Fazenda Rio Grande, PR, with samples of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 347–354, 2016.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3 ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MARCOTT, S. A. et al. A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. **Science**, v. 339, n. 6124, p. 1198–1201, 2013.

MONTEIRO, J. A. F. et al. Accuracy of grid precipitation data for Brazil: Application in river discharge modelling of the Tocantins catchment. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 9, p. 1419–1430, 2016.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

NACE, T. E. et al. The role of North Brazil Current transport in the paleoclimate of the Brazilian Northeast margin and paleoceanography of the western tropical Atlantic during the late Quaternary. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 3–13, 2014.

NEUKOM, R.; GERGIS, J. Southern Hemisphere high-resolution palaeoclimate records of the last 2000 years. **Holocene**, v. 22, n. 5, p. 501–524, 2012.

NEUKOM, R. et al. Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. **Climate Dynamics**, v. 37, n. 1, p. 35–51, 2011.

O'DONNELL, A. J. et al. Tree rings show recent high summer- autumn precipitation in northwest Australia is unprecedented within the last two centuries. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, p. 1–18, 2015.

OOSTHOEK, K. J. **Reconstructing past climates**. Disponível em: <<https://www.eh-resources.org/reconstructing-past-climates/>>. Acesso em: 01 out. 2018.

POSADA, D.; BUCKLEY, T. R. Model selection and model averaging in phylogenetics: Advantages of Akaike Information Criterion and Bayesian approaches over likelihood ratio tests. **Systematic Biology**, v. 53, n. 5, p. 793–808, 2004.

PRESTES, A. et al. Araucaria growth response to solar and climate variability in South Brazil. **Annales Geophysicae**, v. 36, n. 3, p. 717–729, 2018.

RODERJAN, C. V.; GRODZKI, L. Acompanhamento meteorológico em um ambiente de Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro Anhangava, Quatro Barras - PR, no ano de 1993. **Cadernos da Biodiversidade**, v. 2, n. 1, p. 27–34, 1999.

SANQUETTA, C. R. et al. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 3 ed. Curitiba: Multi-Graphic, 2014.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology**. Dordrecht: Kluwer Press, 1989.

SIMEPAR. **Estações meteorológicas do Simepar no Paraná**. Disponível em: <http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados_estacoes/25264916>. Acesso em: 04 jan. 2019.

SPEER, J. H. **Fundamentals of Tree-Ring Research**. 3 ed. Tucson: The University of Arizona Press, 2010.

TRACHSEL, M. et al. Multi-archive summer temperature reconstruction for the European Alps, AD 1053–1996. **Quaternary Science Reviews**, v. 46, p. 66–79, 2012.

VIANA, J. C. C. et al. A late Holocene paleoclimate reconstruction from Boqueirão Lake sediments, northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 117–126, 2014.

VILLALBA, R. et al. Interdecadal climatic variations in millennial temperature reconstructions from southern South America. In: JONES, P. D.; BRADLEY, R. S.; JOUZEL, J. (Eds.) **Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years**. Berlin: Springer-Verlag, 1996. p.161–192.

VILLALBA, R. et al. Unusual Southern Hemisphere tree growth patterns induced by changes in the Southern Annular Mode. **Nature Geoscience**, v. 5, n. 11, p. 793–798, 2012.

WAINER, I. et al. Last Glacial Maximum in South America: Paleoclimate proxies and model results. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 8, p. 1–4, 2005.

WANG, X. et al. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v. 432, n. 7018, p. 740–743, 2004.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A análise dos anéis de crescimento de *Ilex microdonta* permitiu a datação dos indivíduos mais velhos já registrados para a Serra do Mar paranaense, atingindo idades de mais de 200 anos, informação inédita para os ambientes altomontanos no estado do Paraná. As cronologias de anéis de crescimento desenvolvidas para a espécie podem compor uma rede de cronologias já existentes na América do Sul e, com isso, ampliar as possibilidades com estudos dendrocronológicos na região sul do Brasil.

A espécie respondeu à variabilidade climática experimentada ao longo dos anos nesses ambientes, em especial para as temperaturas mínimas, que apresentaram as maiores correlações com as cronologias desenvolvidas. Dentre os fenômenos climáticos globais, o que maior teve relação com as cronologias foi o *Southern Annular Mode* (ou Modo Anular Sul), evento que tem forte influência sobre o clima das médias latitudes do Hemisfério Sul.

O incremento em diâmetro de *I. microdonta* é bastante reduzido comparado a outras espécies e ambientes, levando quase 100 anos para a espécie atingir 10 cm de DAP, em média. As condicionantes climáticas são fatores determinantes para que as taxas de crescimento sejam diferenciadas nesses sítios. Foi possível modelar seu incremento em diâmetro, ainda que com um erro padrão das estimativas acima do esperado, mas possibilitando e abrindo campo para que novos estudos possam ser desenvolvidos nessa área.

As cronologias de anéis de crescimento foram utilizadas como *proxies* climáticos para desenvolver as primeiras reconstruções climáticas para a região da Serra do Mar, informações inéditas para a espécie, e também para esta unidade fisiográfica do estado do Paraná. Os resultados obtidos indicaram períodos de maiores e menores temperaturas médias em períodos desprovidos de dados instrumentais, e essas informações são de grande valia para os estudos climatológicos do sul do Brasil.

Verificou-se resultados bastante significativos em relação às estatísticas das reconstruções climáticas, em especial no sítio Sete, com as temperaturas mínimas nos meses de verão, e isso atrela um forte apelo no que tange às mudanças climáticas, que tanto tem afetado as condições normais do clima na região sul do Brasil. De maneira geral, a espécie apresentou-se promissora para esse tipo de

estudo, podendo, com uma amostragem mais ampla, dar indicativos de variações climáticas num espectro espacial muito maior.

O presente trabalho analisou os índices gerados pelas larguras dos anéis de crescimento de *I. microdonta*, entretanto as comunidades altomontanas apresentam outras espécies, de famílias já notoriamente reconhecidas por apresentar anéis de crescimento distintos e anuais, mesmo que numa frequência fitossociológica menor. O desenvolvimento de estudos com outras espécies poderia facilitar a compreensão dos processos ecológicos envolvidos nessas comunidades, bem como ampliar o entendimento do efeito das variáveis climáticas na vegetação.

É necessário compreender a relação entre as características de solo e exposição de vertentes com as cronologias, para reduzir essa lacuna de conhecimento sobre os processos ecológicos das comunidades, com análises e diferentes formas de avaliação dessas variáveis.

Por fim, uma maior exploração dos dados dos rolos de incremento já coletados e os que, por ventura, serão amostrados é imprescindível, através da análise isotópica da madeira. A razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ possibilitará entender os processos hidrológicos envolvidos no crescimento das árvores, principalmente em relação à precipitação horizontal e possíveis épocas de déficit hídrico, enquanto a razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, para análise dos processos fotossintéticos e carbono nas plantas. Compreender a espécie a um nível molecular ampliará sobremaneira a forma como se dá o entendimento do funcionamento ecológico das árvores e das comunidades, e abre um vasto campo da ciência para exploração nos ambientes altomontanos do Paraná.

REFERÊNCIAS GERAIS

ABRAM, N. J. et al. Evolution of the Southern Annular Mode during the past millennium. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 564–569, 2014.

ADENESKY-FILHO, E. **Florística, fitossociologia e dendroecologia em encosta e planície do médio rio Tibagi, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil**. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

AHMED, M. et al. Continental-scale temperature variability during the past two millennia. **Nature Geoscience**, v. 6, p. 339–346, 2013.

AIBA, S.; KITAYAMA, K. Structure, composition and species diversity in an altitude-substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. **Plant Ecology**, v. 140, n. 2, p. 139–157, 1999.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANCHUKAITIS, K. J. et al. Stable isotope chronology and climate signal calibration in neotropical montane cloud forest trees. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 113, n. 3, p. 1–17, 2008.

ANDREACCI, F. **Atividade cambial, fenologia vegetativa e ritmo de crescimento de Cedrela fissilis Vell. em áreas de florestas ombrófilas mista e densa do estado do Paraná: aspectos dendrocronológicos e dendroecológicos**. 56 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 2017–2030, 2005.

AULER, A. S.; SMART, P. L. Late quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary Research**, v. 55, n. 2, p. 159–167, 2001.

AZIM, A. A. A.; OKADA, N. Occurrence and anatomical features of growth rings in tropical rainforest trees in Peninsular Malaysia : a preliminary study. **Tropics**, v. 23, n. 1, p. 15–31, 2014.

BATTIPAGLIA, G. et al. Long tree-ring chronologies provide evidence of recent tree growth decrease in a Central African tropical forest. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–21, 2015.

BATTISTELLI, C. T. **Cheida requer apoio do exército para conter incêndio no Pico Paraná**. Disponível em: <<http://www.alep.pr.gov.br/divulgacao/noticias/cheida-requer-apoio-do-exercito-para-conter-incendio-no-pico-parana-1>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

BERTALANFFY, L. V. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, v. 32, n. 3, p. 217–231, 1957.

BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado e Planejamento, 1978.

BLUM, C. T. et al. O clima e sua influência na distribuição da Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Morretes, Paraná. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 589–598, 2011.

BONINSEGNA, J. A. et al. Dendroclimatological reconstructions in South America: A review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3–4, p. 210–228, 2009.

BORCHERT, R. Climatic periodicity, phenology and cambium activity in tropical dry forest trees. **IAWA Journal**, v. 20, n. 3, p. 239–247, 1999.

BOWERMAN, A. R. et al. An influence of extreme southern hemisphere cold surges on the North Atlantic Subtropical High through a shallow atmospheric circulation. **Journal of Geophysical Research**, v. 122, n. 10, p. 135–148, 2017.

BRADLEY, R. S. **Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary**. London: Academic Press, 1999.

BRIENEN, R. J. W. et al. Autocorrelated growth of tropical forest trees: Unraveling patterns and quantifying consequences. **Forest Ecology and Management**, v. 237, n. 1–3, p. 179–190, 2006.

BRIENEN, R. J. W. et al. Tree height strongly affects estimates of water-use efficiency responses to climate and CO₂ using isotopes. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2017.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 2, p. 481–493, 2006.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: A test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, v. 146, n. 1, p. 1–12, 2005.

BRIFFA, K. R. et al. Climate Reconstruction From Tree Rings - Part 1: Basic Methodology and Preliminary-Results for England. **Journal of Climatology**, v. 3, n. 3, p. 233–242, 1983.

BRIFFA, K. R. et al. Climate reconstruction from tree rings - Part 2: Spatial reconstruction of summer mean sea-level pressure patterns over Great Britain. **Journal of Climatology**, v. 6, n. 1, p. 1–15, 1986.

BRIFFA, K. R. et al. Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. **Climate Dynamics**, v. 7, p. 111–119, 1992.

BRIFFA, K. R. Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology. In: VON STORCH, H.; NAVARRA, A. (Eds.). **Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. p.77–94.

BROTTO, M. L. et al. Flórmula do Morro dos Perdidos, Serra de Araçatuba, Paraná, Brasil: Aquifoliaceae. **Estudos de Biologia**, v. 29, n. 67, p. 129–135, 2007.

BRUIJNZEEL, L. A. et al. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: Emerging patterns. **Hydrological Processes**, v. 25, n. 1, p. 465–498, 2011.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 104, n. 1, p. 185–228, 2004.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of tropical montane cloud forests: A Reassessment. **Land Use and Water Resources Research**, v. 1, p. 1–18, 2001.

BRUIJNZEEL, L. A.; VENEKLAAS, E. J. Climatic Conditions and Tropical Montane Forest Productivity : The Fog Has Not Lifted Yet. **Ecology**, v. 79, n. 1, p. 3–9, 1998.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. New York: Springer US, 2012.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006.

CARDOSO, F. C. G. et al. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1–2, p. 269–281, 2012.

CARRER, M.; URBINATI, C. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. **Ecology**, v. 85, n. 3, p. 730–740, 2004.

CATTANEO, N. et al. Sex-related, growth-climate association of *Araucaria angustifolia* in the neotropical ombrophilous woodlands of Argentina. **Dendrochronologia**, v. 31, n. 3, p. 147–152, 2013.

CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 317–336.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.317–336.

CHIESSI, C. M. et al. Possible impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the South American summer monsoon. **Geophysical Research Letters**, v. 36, p. 1–5, 2009.

COLSTON, J. M. et al. Evaluating meteorological data from weather stations, and from satellites and global models for a multi-site epidemiological study. **Environmental Research**, v. 165, p. 91–109, 2018.

COOK, E. R. et al. Dendroclimatic signals in long tree-ring chronologies from the Himalayas of Nepal. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 707–732, 2003.

COOK, E. R. et al. Drought reconstructions for the continental United States. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1145–1162, 1999.

COOK, E. R. et al. Five centuries of Upper Indus River flow from tree rings. **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 365–375, 2013.

COOK, E. R. et al. Spatial regression methods in dendroclimatology: A review and comparison of two techniques. **International Journal of Climatology**, v. 14, n. 4, p. 379–402, 1994.

COOK, E. R. et al. The ‘segment length curse’ in long tree-ring chronology development for palaeoclimatic studies. **The Holocene**, v. 5, n. 2, p. 229–237, 1995.

COOK, E. R. et al. The North Atlantic Oscillation using tree-ring chronologies from North America and Europe. **Holocene**, v. 8, n. 1, p. 9–17, 1998.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Science**. Boston: Kluwer Press, 1990.

COSMO, N. L. **Ecologia do lenho de 19 espécies nativas do estado do Paraná**. 80 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

COSTA, M. S. et al. Growth analysis of five Leguminosae native tree species from a seasonal semideciduous lowland forest in Brazil. **Dendrochronologia**, v. 36, p. 23–32, 2015.

CRU-UEA. **Climate Research Unit**. Disponível em: <<http://www.cru.uea.ac.uk/>>. Acesso em: 02 out. 2018.

CRUZ, F. W. et al. Orbital and millennial-scale precipitation changes in Brazil from speleothem records. In: VIMEUX, F.; SYLVESTRE, F. KHODRI, M. (Eds.). **Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions**. Paris: Springer-Science & Business Media, 2009. p. 29–60.

D'ARRIGO, R. et al. Tree-ring reconstructed temperature index for coastal northern Japan: implications for western North Pacific variability. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 12, p. 3713–3720, 2014.

DILE, Y. T.; SRINIVASAN, R. Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: An application in the Blue Nile river basin. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, n. 5, p. 1226–1241, 2014.

DUCHESNE, L. et al. Extracting coherent tree-ring climatic signals across spatial scales from extensive forest inventory data. **PLoS ONE**, v. 12, n. 12, p. 1–20, 2017.

DUNCAN, R. P. An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in Kahikatea (*Dacrycarpus dacrydioides*). **New Zealand Natural Sciences**, v. 16, p. 31–37, 1989.

DÜNISCH, O. et al. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees**, v. 17, p. 244–250, 2003.

DÜNISCH, O. et al. Growth dynamics in wood formation of plantation-growth *Swietenia macrophylla* King and *Carapa guianensis* Aubl. **Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft**, v. 193, p. 79–96, 1999.

EDWIN, G.; REITZ, P. R. Aquifoliáceas. In: Reitz, P. R. (Ed.). **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1967. p. 47.

ELLER, C. B. et al. Foliar uptake of fog water and transport belowground alleviates drought effects in the cloud forest tree species *Drimys brasiliensis* (Winteraceae). **New Phytologist**, v. 199, n. 1, p. 151–162, 2013.

ELLER, C. B. **The effects of environmental changes on water and carbon relations of cloud forest trees**. 102 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

ESPER, J. et al. Large-scale, millennial-length temperature reconstructions from tree-rings. **Dendrochronologia**, v. 50, p. 81–90, 2018.

FAHEY, T. J. et al. Tropical montane cloud forest: Environmental drivers of vegetation structure and ecosystem function. **Journal of Tropical Ecology**, v. 32, n. 5, p. 355–367, 2016.

FALKENBERG, D. B.; VOLTOLINI, J. C. The Montane Cloud Forest in Southern Brazil. In: HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. (Eds.). **Tropical Montane Cloud Forests**. New York: Springer-Verlag, 1995. p. 138–149.

FALLAH, A. et al. Investigating the out-of-roundness and pith-off-centre in stems of three broadleaved species in Hyrcanian forests. **Journal of Forest Science**, v. 2012, n. 11, p. 513–518, 2012.

FANG, K. et al. An Ensemble Weighting Approach for Dendroclimatology: Drought Reconstructions for the Northeastern Tibetan Plateau. **PLoS ONE**, v. 9, n. 1, p. 1–10, 2014.

FANG, K. et al. Influence of non-climatic factors on the relationships between tree growth and climate over the Chinese Loess Plateau. **Global and Planetary Change**, v. 132, p. 54–63, 2015a.

FANG, K. et al. Moisture stress of a hydrological year on tree growth in the Tibetan Plateau and surroundings. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 3, p. 34010, 2015b.

FERRERO, M. E. et al. Tree-growth responses across environmental gradients in subtropical Argentinean forests. **Plant Ecology**, v. 214, n. 11, p. 1321–1334, 2013.

FONTANA, C. et al. Climatic signal in growth-rings of *Copaifera lucens*: An endemic species of a Brazilian Atlantic forest hotspot, southeastern Brazil. **Dendrochronologia**, v. 50, p. 23–32, 2018.

FRANCO-MAGALHÃES, A. O. B. et al. Exumação tectônica e reativação de paleolineamentos no Arco de Ponta Grossa : termocronologia por traços de fissão em apatitas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 184–195, 2010.

FRITTS, H. C. **Tree Rings and Climate**. Caldwell: The Blackburn Press, 1976.

GATTI, G. **Reflexões sobre o incêndio que destruiu grande parte da vegetação no Parque Estadual do Pico Paraná, localizado na Serra do Mar**. Disponível em: <<http://altamontanha.com/gustavo-gatti-fala-sobre-o-incendio-no-caratuva/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

GERGIS, J. et al. Australasian Temperature Reconstructions Spanning the Last Millennium. **Journal of Climate**, v. 29, p. 5365–5392, 2016.

GIRARDIN, C. A. J. et al. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. **Global Change Biology**, v. 16, n. 12, p. 3176–3192, 2010.

GLUECK, M. F.; STOCKTON, C. W. Reconstruction of the North Atlantic Oscillation, 1429–1983. **International Journal of Climatology**, v. 21, p. 1453–1465, 2001.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 182, p. 513–585, 1825.

GRANATO-SOUZA, D. et al. Dendrochronological analyses and climatic signals of *Alchornea triplinervia* in subtropical forest of southern Brazil. **Austral Ecology**, v. 43, p. 385–396, 2018.

GRIMM, A. M. Clima da região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009a. p. 259–276.

GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009b. p. 353–374.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589–1609, 2009.

GRISSINO-MAYER, H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree-Ring Research**, v. 57, n. 2, p. 205–221, 2001.

GROPPO, M. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**: Aquifoliaceae. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015.

GUPTA, A. SEN; ENGLAND, M. H. Coupled ocean–atmosphere–ice response to variations in the Southern Annular Mode. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4457–4486, 2006.

HAMILTON, L. S. et al. **Tropical Montane Cloud Forests**. New York: Springer-Verlag, 1995.

HATHAWAY, D. H. The Solar Cycle. **Living Reviews in Solar Physics**, v. 7, n. 1, p. 1–81, 2010.

HAUCK, P. **5 anos do incêndio no Caratuva**. Disponível em: <<http://altamontanha.com/5-anos-do-incendio-do-caratuva/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

HELM, B. et al. Annual rhythms that underlie phenology : biological time-keeping meets environmental change. **Proceedings of the Royal Society**, v. 280, n. 1765, p. 20130016, 2013.

HOEGH-GULDBERG, O. et al. Impacts of 1.5 °C global warming on natural and human systems. In: IPCC - International Panel on Climate Change. (Ed.). **Global Warming of 1.5 °C**. 2018.

HOFSTRA, N. et al. The influence of interpolation and station network density on the distributions and trends of climate variables in gridded daily data. **Climate Dynamics**, v. 35, n. 5, p. 841–858, 2010.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, v. 43, p. 69–78, 1983.

HOLZ, A. et al. Southern Annular Mode drives multicentury wildfire activity in southern South America. **PNAS**, v. 114, n. 36, p. 1–6, 2017.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Marumbi**. Curitiba: SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 1996.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Baitaca**. Curitiba: SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 2017.

IRVING, D.; SIMMONDS, I. A new method for identifying the Pacific-South American pattern and its influence on regional climate variability. **Journal of Climate**, v. 29, n. 17, p. 6109–6125, 2016.

KANIESKI, M. R. et al. Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B. Sm. & Downs e *Hovenia dulcis* Thunb. em uma área degradada na Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1201–1215, 2017.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 531–540, 2007.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Variabilidade decenal a multidecenal. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 375–384.

KLOSTERMANN, F. **Incêndio destrói Parque Estadual Pico Paraná**. Disponível em: <<https://www.tribunapr.com.br/noticias/parana/incendio-destroi-parque-estadual-pico-parana/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

KNMI. **Climate Explorer**. Disponível em: <<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>>. Acesso em: 02 out. 2018.

KOEHLER, A. et al. Floresta Ombrófila Densa Altomontana: aspectos florísticos e estruturais de diferentes trechos na Serra do Mar, PR. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 27–39, 2002.

KORF, V. Příspěvek k matematické definici vzrůstového zákona lesních porostů. **Lesnická práce**, v. 18, p. 339–356, 1939.

KOYA, P. R.; GOSHU, A. T. Generalized Mathematical Model for Biological Growths. **Open Journal of Modelling and Simulation**, v. 01, n. 04, p. 42–53, 2013.

LARA, A. et al. Spatial and temporal variation in *Nothofagus pumilio* growth at tree line along its latitudinal range (35 ° 40' – 55 ° S) in the Chilean Andes. **Journal of Biogeography**, v. 32, p. 879–893, 2005.

LARA, A.; VILLALBA, R. A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South America. **Science**, v. 260, n. 5111, p. 1104–1106, 1993.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Editora RiMa, 2006.

LAVERGNE, A. et al. Past summer temperatures inferred from dendrochronological records of *Fitzroya cupressoides* on the eastern slope of the northern patagonian Andes. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 123, n. 1, p. 32–45, 2018.

LEDRU, M. P. et al. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. **Quaternary Research**, v. 64, n. 3, p. 444–450, 2005.

LISI, C. S. et al. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. **IAWA Journal**, v. 29, n. 2, p. 189–207, 2008.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil**. 216 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LOCOSSELLI, G. M. et al. Rock outcrops reduce temperature-induced stress for tropical conifer by decoupling regional climate in the semiarid environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 5, p. 639–649, 2016.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Aspidosperma polyneuron* Müll . Arg . em duas condições geomorfológicas no sul do Brasil**. 110 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B. Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil**. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LONGHI-SANTOS, T. et al. Dendroecological study of *Myrceugenia glaucescens* (Cambess.) D. Legrand & Kausel. in Alluvial Mixed Ombrophilous Forest, Paraná, Brazil. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, p. 20–26, 2015.

LÓPEZ, L.; VILLALBA, R. Climate influences on the radial growth of *Centrolobium microchaete*, a valuable timber species from the tropical dry forests in Bolivia. **Biotropica**, v. 43, n. 1, p. 41–49, 2011.

LORENSI, C. **Estudo de eventos de *El Niño* e *La Niña* em anéis de crescimento de árvores para a região sul do Brasil**. 116 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

LORENSI, C.; PRESTES, A. Dendroclimatological reconstruction of spring-summer precipitation for Fazenda Rio Grande, PR, with samples of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 347–354, 2016.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3 ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MAESTRI, R. et al. Modelagem do crescimento de povoamentos de *Eucalyptus grandis* através de processos de difusão. **Floresta**, v. 33, n. 2, p. 169–182, 2003.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 35–44, 2002.

MARCOTT, S. A. et al. A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. **Science**, v. 339, n. 6124, p. 1198–1201, 2013.

MARSHALL, G. J. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. **Journal of Climate**, v. 16, n. 24, p. 4134–4143, 2003.

MARTINS, D. G. et al. Determinação da densidade básica da madeira de congonha (*Ilex microdonta* Reiss.) ao longo do fuste. **Ciência & Natura**, v. 26, n. 2, p. 33–42, 2004.

MBIRIRI, M. et al. Influence of altitude on the spatiotemporal variations of meteorological droughts in mountain regions of the free state province, South Africa (1960–2013). **Advances in Meteorology**, v. 2018, p. 1–11, 2018.

MCCARROLL, D. et al. Multiproxy dendroclimatology: A pilot study in northern Finland. **Holocene**, v. 13, n. 6, p. 829–838, 2003.

MELO, M. S. et al. Gênese e Evolução da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR. **Revista do Instituto Geológico**, v. 21, n. 1, p. 17–31, 2000.

MELVIN, T. M.; BRIFFA, K. R. A “signal-free” approach to dendroclimatic standardisation. **Dendrochronologia**, v. 26, n. 2, p. 71–86, 2008.

METEOROLOGY, B. **Climate Glossary - Southern Oscillation Index**. Disponível em: <www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>. Acesso em: 07 out. 2018.

MEYER, L. et al. Fitossociologia do componente arbóreo/arbustivo da Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. (Eds.). **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**. Blumenau: Edifurb, 2013. p.157–189.

MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007.

MILANI, J. E. F. **Autoecologia De Espécies Arbóreas De Uma Floresta Aluvial : Fenologia E Crescimento**. 94 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ. **Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ. **Mapa Geológico do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2006.

MIRANDA, B. P. **Dendroecologia de *Ilex microdonta* Reissek E *Drimys brasiliensis* Miers em dois ambientes altomontanos da Serra do Mar, Paraná, Brasil**. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MO, K. C. Relationships between low-frequency variability in the southern hemisphere and sea surface temperature anomalies. **Journal of Climate**, v. 13, p. 3599–3610, 2000.

MO, K. C.; HIGGINS, R. W. The Pacific–South American modes and Tropical Convection during the Southern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 6, p. 1581–1596, 1998.

MONTEIRO, J. A. F. et al. Accuracy of grid precipitation data for Brazil: Application in river discharge modelling of the Tocantins catchment. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 9, p. 1419–1430, 2016.

MORALES, M. S. et al. Rainfall-controlled tree growth in high-elevation subtropical treelines. **Ecology**, v. 85, n. 11, p. 3080–3089, 2004.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

NACE, T. E. et al. The role of North Brazil Current transport in the paleoclimate of the Brazilian Northeast margin and paleoceanography of the western tropical Atlantic during the late Quaternary. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 3–13, 2014.

NASCIMENTO, R. G. M. et al. Modelagem da sobrevivência, mortalidade e recrutamento de uma floresta na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 319–330, 2013.

NASCIMENTO, R. G. M. et al. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 93–103, 2012.

NELDER, J. A. The Fitting of a Generalization of the Logistic Curve. **Biometrics**, v. 17, n. 1, p. 89–110, 1961.

NEUKOM, R. et al. Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. **Climate Dynamics**, v. 37, n. 1, p. 35–51, 2011.

NEUKOM, R.; GERGIS, J. Southern Hemisphere high-resolution palaeoclimate records of the last 2000 years. **Holocene**, v. 22, n. 5, p. 501–524, 2012.

O'DONNELL, A. J. et al. Tree rings show recent high summer-autumn precipitation in northwest Australia is unprecedented within the last two centuries. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, p. 1–18, 2015.

OLIVEIRA, J. M. et al. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. **Austral Ecology**, v. 35, p. 134–147, 2010.

OOSTHOEK, K. J. **Reconstructing past climates**. Disponível em: <<https://www.eh-resources.org/reconstructing-past-climates/>>. Acesso em: 01 out. 2018.

PEDERSON, N. et al. Is an epic pluvial masking the water insecurity of the greater New York. **Journal of Climate**, v. 26, p. 1339–1354, 2013.

PEZZI, L.; SOUZA, R. B. Variabilidade de mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 385–406.

PIOVESAN, G.; SCHIRONE, B. Winter North Atlantic oscillation effects on the tree rings of the Italian beech (*Fagus sylvatica* L.). **International Journal of Biometeorology**, v. 44, p. 121–127, 2000.

PIRAINO, S. et al. Geomorphological-related heterogeneity as reflected in tree growth and its relationships with climate of Monte Desert *Prosopis flexuosa* DC woodlands. **Trees**, v. 23, n. 3, p. 1–14, 2015.

PORTES, M. C. G. de O. et al. Caracterização florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro do Anhangava, Quatro Barras–PR. **Floresta**, v. 31, n. 2, p. 1–10, 2001.

POSADA, D.; BUCKLEY, T. R. Model selection and model averaging in phylogenetics: Advantages of Akaike Information Criterion and Bayesian approaches over likelihood ratio tests. **Systematic Biology**, v. 53, n. 5, p. 793–808, 2004.

PRESTES, A. et al. Araucaria growth response to solar and climate variability in South Brazil. **Annales Geophysicae**, v. 36, n. 3, p. 717–729, 2018.

PSCHEIDT, F. et al. Variações florístico-estruturais da comunidade arbórea associadas à distância da borda em um fragmento florestal no planalto sul-catarinense. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 421–430, 2015.

PUCHA-COFREP, D. et al. Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. **Global and Planetary Change**, v. 133, p. 65–78, 2015.

RAUBER, R. C. **Dendroecologia de Cedrella fissilis Vell. (Meliaceae) em um ecótono de Florestas Subtropicais Montanas no Brasil**. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

REBOITA, M. S. et al. Relationship between the Southern Annular Mode and southern hemisphere atmospheric systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 48–55, 2009.

RICHARDS, F. J. A flexible growth model for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v. 10, n. 29, p. 290–301, 1959.

RIGOZO, N. R. et al. ENSO influence on tree ring data from Chile and Brazil. **Geofísica Internacional**, v. 43, n. 2, p. 287–294, 2004.

ROBERTSON, A.; MECHOSO, C. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic Convergence Zone. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 2947–2957, 2000.

RODERJAN, C. V. et al. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência&Ambiente**, v. 1, n. 24, p. 1–12, 2002.

RODERJAN, C. V. **O gradiente da Floresta Ombrófila Densa no Morro Anhangava, Quatro Barras, PR - Aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos**. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

RODERJAN, C. V.; GRODZKI, L. Acompanhamento meteorológico em um ambiente de Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro Anhangava, Quatro Barras - PR, no ano de 1993. **Cadernos da Biodiversidade**, v. 2, n. 1, p. 27–34, 1999.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista**. 151 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ROSSI, G. **Montanhistas entram na luta contra incêndio, que permanece fora de controle**. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/montanhistas-entram-na-luta-contraincendio-que-permanece-fora-de-controle-an68ot2gs0hgpp4aa42trwojy/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

SANQUETTA, C. R. et al. Equações individuais e determinação de classes de crescimento para *Nectandra grandiflora* Nees a partir de dados de análise de tronco. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 1, p. 1–8, 2010.

SANQUETTA, C. R. et al. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 3 ed. Curitiba: Multi-Graphic, 2014.

SANQUETTA, C. R. et al. Modelos biológicos de crescimento em diâmetro para aroeira. **Enciclopédia Bioesfera**, v. 13, n. 23, p. 812–821, 2016.

SANTOS, L. et al. Idade relativa e tempo de passagem para *Eremanthus incanus* (Less.) Less em uma área em recuperação no município de Diamantina, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1–10, 2017.

SAVI, M. **Análise ecossistêmica da Serra do Mar paranaense: Área de Especial Interesse Turístico do Marumbi**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SCHEER, M. B. **Ambientes altomontanos no Paraná: florística vascular, estrutura arbórea, relações pedológicas e datações por 14C**. 153 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SCHEER, M. B. et al. Carbon and Water in Upper Montane Soils and Their Influences on Vegetation in Southern Brazil. **ISRN Soil Science**, v. 2013, p. 1–12, 2013.

SCHEER, M. B. et al. Estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de serras do Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 1, p. 735–750, 2011b.

SCHEER, M. B. et al. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1113–1126, 2011a.

SCHEER, M. B.; MOCOCHINSKI, A. Y. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 2, p. 51–69, 2009.

SCHMIDLIN, H. P. **A conquista do Pico Paraná**. Disponível em: <<http://altamontanha.com/a-conquista-do-pico-parana/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

SCHNEIDER, C.; GIES, D. Effects of *El Niño*-southern oscillation on southernmost South America precipitation at 53°S revealed from NCEP-NCAR reanalyses and weather station data. **International Journal of Climatology**, v. 24, n. 9, p. 1057–1076, 2004.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1–2, p. 46–58, 2008.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology**. Dordrecht: Kluwer Press, 1989.

SCOLFORO, H. F. et al. A new model of tropical tree diameter growth rate and its application to identify fast-growing native tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 578–586, 2017.

SHEPPARD, P. R. Dendroclimatology: Extracting climate from trees. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 1, n. 3, p. 343–352, 2010.

SHIMAMOTO, C. Y. **Estimativa do crescimento e acúmulo de biomassa em espécies arbóreas, como subsídio a projetos de restauração da Mata Atlântica**. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SHIMAMOTO, C. Y. et al. Stem growth rhythms in trees of a tropical rainforest in Southern Brazil. **Trees**, v. 30, n. 1, p. 99–111, 2015.

SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. Para entender tempo e clima. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.15–22.

SILVA, M. O. **Modelagem do crescimento para plantios de eucalipto no norte de Minas Gerais, Brasil**. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SIMEPAR. **Estações meteorológicas do Simepar no Paraná**. Disponível em: <http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados_estacoes/25264916>. Acesso em: 04 jan. 2019.

SNIRH - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. **Portal HidroWeb**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SOBOLESKI et al. Variação de atributos funcionais do componente arbóreo em função de gradientes edáficos em uma floresta nebulosa no sul do Brasil. **Rodriguésia**, v. 68, n. 2, p. 291–300, 2017.

SOLANKI, S. K. Sunspots : An overview. **The Astronomy and Astrophysics Review**, v. 11, p. 153–286, 2003.

SPEER, J. H. **Fundamentals of Tree-Ring Research**. 3 ed. Tucson: The University of Arizona Press, 2010.

STADTMÜLLER, T. **Cloud Forests in the Humid Tropics: A Bibliographic Review**. Tokio: The United Nations University Press, 1987.

STAHLE, D. W. et al. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**, v. 124, n. 2–3, p. 217–229, 1999.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

STILL, C. J. et al. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. **Nature**, v. 398, n. 6728, p. 608, 1999.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends. **Journal of Climate**, v. 13, n. 5, p. 1018–1036, 2000.

TOWNSEND, C. R. et al. **Fundamentos em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TRACHSEL, M. et al. Multi-archive summer temperature reconstruction for the European Alps, AD 1053–1996. **Quaternary Science Reviews**, v. 46, p. 66–79, 2012.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**. Wallingford: CAB International, 1994.

VASHCHENKO, Y. et al. Solos e Vegetação dos Picos Camacua, Camapuã e Tucum - Campina Grande do Sul - PR. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 4, p. 411–419, 2007.

VASHCHENKO, Y.; BIONDI, D. Percepção da erosão pelos visitantes nas trilhas do Parque Estadual do Pico Marumbi, PR. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 8, n. 1, p. 108–118, 2013.

VENEGAS-GONZÁLEZ, A. et al. Sensitivity of tree ring growth to local and large-scale climate variability in a region of Southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, n. 1–2, p. 233–245, 2016.

VIANA, J. C. C. et al. A late Holocene paleoclimate reconstruction from Boqueirão Lake sediments, northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 117–126, 2014.

VICENTE-SERRANO, S. M. et al. A multiscale drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. **Journal of Climate**, v. 23, n. 7, p. 1696–1718, 2010.

VIEIRA, R. S. **Influência de feições geomórficas sobre os padrões pedológicos, florísticos e estruturais de florestas altomontanas na Serra do Mar do Paraná–Brasil**. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

VIEIRA, R. S. et al. Floresta Ombrófila Densa Altomontana na Serra do Capivari, Campina Grande do Sul, Paraná. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 565–576, 2014.

VILLALBA, R. et al. Interdecadal climatic variations in millennial temperature reconstructions from southern South America. In: JONES, P. D.; BRADLEY, R. S.; JOUZEL, J. (Eds.) **Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years**. Berlin: Springer-Verlag, 1996. p.161–192.

VILLALBA, R. et al. Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South America. **International Journal of Climatology**, v. 18, p. 1463–1478, 1998.

VILLALBA, R. et al. Unusual Southern Hemisphere tree growth patterns induced by changes in the Southern Annular Mode. **Nature Geoscience**, v. 5, n. 11, p. 793–798, 2012.

WAINER, I. et al. Last Glacial Maximum in South America: Paleoclimate proxies and model results. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 8, p. 1–4, 2005.

WALTER, F. W.; LIETH, H. **Klimadiagramm-Weltatlas**. Jena, v. 1, 1967.

WANG, S. et al. Combined effects of the Pacific Decadal Oscillation and *El Niño*-Southern Oscillation on Global Land Dry-Wet Changes. **Scientific Reports**, v. 4, n. 6651, p. 1–8, 2014.

WANG, X. et al. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v. 432, n. 7018, p. 740–743, 2004.

WATZLAWICK, L. F. et al. Florística, estrutura e distribuição espacial em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula (RS). **Revista Ambiência**, v. 9, n. 1, p. 113–128, 2013.

WEAVER, P. L. et al. Ecological observations in the dwarf cloud forest of the Luquillo mountains in Puerto Rico. **Biotropica**, v. 18, n. 1, p. 79–85, 1986.

WHITMORE, T. C. Canopy Gaps and the Two Major Groups of Forest Trees. **Ecological Society of America**, v. 70, n. 3, p. 536–538, 1989.

WHITMORE, T. C. W. Tropical forest nutrients, where do we stand? A tour de horizon. In: PROCTOR, J. (Ed.). **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific Press, 1989. p. 1–13.

WIGLEY, T. M. L. et al. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 23, n. 2, p. 201–213, 1984.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 87, n. 3, p. 391–403, 1999.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in Tropical Trees. **IAWA Journal**, v. 16, n. 4, p. 337–351, 1995.

ZANG, C.; BIONDI, F. Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. **Dendrochronologia**, v. 31, p. 68–74, 2013.